

LT

PERCEMENT DU SIMPLON

MÉMOIRE TECHNIQUE

A L'APPUI DES

PLANS ET DEVIS

DRESSÉS EN 1881 ET 1882

Publié par le Comité du Simplon.

LAUSANNE

IMPRIMERIE GEORGES BRIDEL

1882

PERCEMENT DU SIMPLON



MÉMOIRE TECHNIQUE

1882



6/9225

PERCEMENT DU SIMPLON

MÉMOIRE TECHNIQUE

A L'APPUI DES

PLANS ET DEVIS

DRESSÉS EN 1881 ET 1882

Publié par le Comité du Simplon.

LAUSANNE

IMPRIMERIE GEORGES BRIDEL

1882

PC 202

Le mémoire ci-après, rédigé par MM. les ingénieurs Jean Meyer et William Huber, a été approuvé par le Comité du Simplon dans sa séance du 13 décembre 1882.

Le Président du Comité :

P. CERESOLE

PERCEMENT DU SIMPLON



MÉMOIRE TECHNIQUE

A L'APPUI DES

PLANS ET DEVIS DE 1881 ET 1882

CHAPITRE I^{er}

NOTICE HISTORIQUE

Trois chemins de fer traversent aujourd'hui la chaîne des Alpes : le Mont Cenis à l'ouest, le Brenner à l'est et le S^t Gothard au centre. Le Mont Cenis sert aux relations du Piémont avec le centre et le midi de la France ; le Brenner à celles de la Vénétie avec l'Autriche ; le S^t Gothard forme depuis quelque temps un lien entre la Haute Italie, la Suisse centrale et l'Allemagne. Au nord du parallèle de Lyon, la France n'a aucun débouché direct sur l'Italie. Toute cette région, la plus industrielle du pays, doit faire décrire à ses produits le détour par le Mont Cenis ou emprunter la ligne du Gothard dont les tarifs sont calculés en vue de favoriser l'Allemagne. Le commerce d'exportation de la France et son influence internationale courent de ce chef des dangers signalés depuis longtemps.

C'est pour y parer qu'on a proposé le percement du Simplon. En 1852 déjà, un groupe de financiers et d'entrepreneurs français demandait et obtenait du Valais et de la Confédération suisse la concession d'une ligne partant du lac Léman pour remonter la vallée du Rhône et traverser les Alpes au Simplon. Depuis cette époque ce passage a été un objet constant d'études de la part d'ingénieurs de toutes nationalités. Nous allons passer rapidement en revue leurs divers projets.

Projet Clo-Venetz. 1857.

MM. les ingénieurs Clo et Venetz, tous deux Valaisans, sont les auteurs du premier avant-projet de la traversée du Simplon par chemin de fer.

On ne songeait pas alors à percer de très longs tunnels ; la réussite du Mont Cenis, avec sa galerie de 12 km. 233 m., était mise en doute par les meilleurs esprits. Il fallait toute la foi et le feu sacré des Sommelier, des Grattoni et des Colladon, pour oser proposer une solution aussi hardie.

MM. Clo et Venetz se renfermèrent dans les instructions reçues : leur rampe de 25 mm. partait de Gliss à la cote 725 au-dessus de la mer ; le tracé passait la Saltine au pont Napoléon pour se développer sur le plateau du Briggerberg, rentrer dans les gorges de la Saltine et attaquer le rocher près de Grund, au confluent des torrents de la Ganther et de la Saltine, à l'altitude 1068 m., soit 270 m. plus bas que l'altitude du tunnel du Mont Cenis.

La longueur du souterrain devait être de 12 200 m., la même que celle du Mont Cenis. Tracé en ligne droite, il débouchait au sud à la cote 1011, un peu en aval de la galerie de Gondo. Les déclivités intérieures étaient de $\frac{1}{2}$ mm. sur la moitié de la longueur, 10 mm. sur l'autre moitié.

Sur le versant méridional, en suivant la rive gauche de la Diveria, une pente de 30 mm. aboutissait à Domo d'Ossola.

La distance totale de Brigue à Domo était de 51 km., la durée d'exécution fixée à dix ans et le devis de 73820000 fr., non compris le service des intérêts pendant la construction.

Projets Eugène Flachet. 1860.

L'énormité de ce chiffre de soixante-quatorze millions engagea M. Eugène Flachet à étudier la possibilité de franchir le Simplon *à ciel ouvert* ou par un souterrain le plus court possible. Le résultat de cette étude fut publié au commencement de 1860.

M. Flachet, ne croyant pas à la gravité des obstacles qu'opposent les tourmentes de neige dans ces hautes régions, étudia les moyens de passer par-dessus la montagne avec des déclivités de 35 et de 50 ‰, impliquant, comme de juste, un matériel roulant spécial et des transbordements à Brigue et à Iselle. Il abandonna vite le tracé à 35, reconnu plus difficile, et proposa celui à 50 mm.

Son projet se développe en amont de Brigue sur le versant de la vallée du Rhône ; il entre, comme le fait la route, dans la vallée de la Ganther qu'il traverse à une altitude

de 150 m. plus élevée et à 800 m. plus en amont que le pont actuel; de là il gagne le point culminant du col : 2020 m.

Sur le versant sud, M. Flachat établit du 50 ‰ jusqu'au-dessus d'Algaby; du 55 et 60 ‰ entre Algaby et Gondo, du 50 sur Iselle et du 35 entre Iselle et Domo.

Sur le parcours, en contradiction avec ses affirmations de sécurité, l'auteur prévoit 3500 m. de couverture artificielle contre les avalanches et six refuges avec maisons construites sous des galeries.

Courbes de 100 m. de rayon; temps d'exécution : cinq ans; devis, vingt millions, que M. Piarron de Mondésir porte au double dans la critique qu'il a faite plus tard de ce projet.

M. Flachat semble avoir reculé lui-même devant la possibilité de passer entièrement à ciel ouvert, car il prévoit des galeries de faite : un projet suppose un tunnel de 2940 m. de longueur à 1759 m. d'altitude; un second admet un souterrain de 7800 m. avec sept puits à l'altitude de 1509 m. Dans l'un et l'autre cas, les déclivités de 50 pouvaient être réduites à 35 ‰ sur une portion notable du parcours.

Il ressort, de l'incertitude même de ses propositions, que M. Flachat visait plutôt une théorie et l'application d'un nouveau matériel spécial, qu'un moyen réellement pratique de relier la France à l'Italie.

Projet Vauthier. 1860.

M. L.-L. Vauthier, ingénieur des ponts et chaussées, avait foi dans le percement de longues galeries par les moyens mécaniques encore peu développés à cette époque. Il fut frappé de la faible épaisseur relative que présente, au Simplon, le massif des Alpes. En effet, sur toute la chaîne, du Mont Cenis au Tyrol, le Simplon est *le seul point* où l'on puisse attaquer la montagne au-dessous de 1000 m. sans dépasser les limites de longueur reconnues exécutables. D'autre part, les projets de M. Flachat, quelque économiques qu'ils puissent être, exigeaient un matériel spécial qui n'avait pas encore fait ses preuves, une vitesse moindre, enfin deux transbordements venant grever des tarifs naturellement élevés par eux-mêmes. M. Vauthier proposa un *tunnel dit de base*, au plus bas de la montagne. Il fut le promoteur de cette idée, généralement acceptée aujourd'hui, et avait fait procéder par M. Gerlach, géologue distingué, à une étude approfondie de la structure du massif.

Le projet part de Gliss et s'élève avec 20 ‰ pendant 1330 m. jusqu'au pont Napoléon, à l'altitude de 743 m. seulement, dans le voisinage duquel est placée la tête nord du tunnel.

Le tracé souterrain se dirige en ligne droite sur Iselle où il sort à la cote 625. Le tunnel a 18 km. 220 m. de longueur et un puits ; ses déclivités intérieures sont de 1 ‰ sur la moitié nord et 14 sur la moitié sud.

En Italie, M. Vauthier arrivait à Domo d'Ossola avec 20 mm. sur 10 km. 450 m. ; 22 sur 4 km. 850 m. et 24 sur 1 km. 650 m. Dans ses prévisions il n'existait qu'un seul palier de gare ; les autres, indispensables, eussent été trouvés dans le tracé définitif en portant les pentes à 22 ‰ presque partout.

Projets Jaquemin. 1860-1862.

A la même époque un ingénieur vaudois, M. Charles Jaquemin, étudiait une variante au projet de M. Flachet, en cherchant un tunnel pour mettre la voie à couvert dans la région haute. Ce projet s'élevait de Gliss avec une rampe de 50 mm. Le tunnel de 2000 m. de longueur prenait son origine dans les fonds de Tavernette, à l'altitude de 1709, pour sortir à 1769 entre le nouvel et l'ancien hospice. Son inclinaison intérieure était de 30 ‰ en rampe du nord au sud. Les puits devaient être en nombre suffisant pour assurer l'exécution dans un délai de deux ans. Ce tracé était donc à environ 200 m. plus bas que celui à ciel ouvert de M. Flachet et le tunnel, bien qu'à la même altitude qu'un de ceux proposés par Flachet, était plus court.

M. Jaquemin ne tarda pas à reconnaître qu'il pouvait, sans inconvénients, abaisser et allonger son souterrain. Son projet de 1862 part de l'idée d'un tunnel en ligne deux fois brisée, pour suivre autant que possible la projection verticale de la dépression du col et faciliter d'autant l'exécution des puits.

Le point de départ est toujours Gliss ; il passe la Saltine à 150 m. en amont du pont Napoléon et, en s'élevant avec du 25 et du 30 pour mille, il vient chercher les terrains faciles du Briggerberg. Arrivé au ruisseau de Mattgraben, M. Jaquemin établit une gare de rebroussement ; il cherche à justifier cet inconvénient en faisant ressortir les avantages que cette gare offrirait pour un raccordement avec une ligne pénétrant dans le Haut Valais. De ce point le tracé s'élève avec 35 ‰ jusqu'à 600 m. en amont de Grund, à la cote altitudinale 1215, où se place la tête nord du tunnel. Ce souterrain devait avoir 11 kilomètres de longueur, avec cinq puits dans la portion nord et cinq dans sa partie sud. Ces puits devaient être, pour la plupart, des galeries inclinées d'après le système de M. Tony-Fontenay. Les déclivités intérieures étaient de 30, 28 et 20 ‰. La tête sud se trouvait à 700 m. en aval du village du Simplon, à la cote 1300.

Sur les abords sud, l'auteur installait deux autres gares de rebroussement, la première au-dessous du village du Simplon, l'autre à Campelia non loin de Domo. Les pentes étaient de 35 jusqu'à Campelia, de 28 entre ce rebroussement et Domo d'Ossola. Les courbes se maintenaient de 250 à 300 m.

La durée du travail était estimée à 11 ans par les anciens procédés, réductible à 8 ans par l'installation de postes ininterrompus d'ouvriers de quatre heures ou par les nouveaux procédés mécaniques en expérience au Mont Cenis.

Devis : 51 404 000 fr.

M. Jaquemin estimait qu'un tracé à ciel ouvert avec 50 ‰ exigerait 3 années et coûterait 34 350 000 fr., et qu'un tracé aussi à 50 ‰ mais avec tunnel de 4000 m. percé à 1700 m. d'altitude demanderait 4 ans et coûterait 34 840 000 fr.

Projet Thouvenot. 1863.

M. Thouvenot reconnaît que la meilleure des solutions consiste à livrer passage à la voie ferrée, en perçant les Alpes à leur base. Mais, à défaut de cette solution, il se rattache à l'idée de M. Flachat de franchir le Simplon à l'aide d'un matériel spécial consistant en une puissante locomotive pouvant communiquer sa force à chaque essieu des wagons par le moyen de courroies ou de chaînes de Galle. Ce matériel devait circuler, comme celui de M. Flachat, dans des courbes de petit rayon.

Le tracé part de Brigue avec 50 pour mille ; la longueur du tunnel est de 4000 m. et les deux têtes nord et sud sont à la même altitude, de 1700 m. ; la descente sur Iselle s'effectue avec du 50 pour mille. Durée d'exécution, 4 ans ; devis de Brigue à Iselle, 39 160 000 fr., non compris le service des intérêts et 50 millions jusqu'à Domo.

Ce projet, on le voit, n'est qu'une variante se rapprochant de l'un des projets Flachat et Jaquemin.

Projet Lehâitre. 1863.

M. Piarron de Mondésir, ingénieur en chef de *la ligne d'Italie*, abandonna les idées émises par son prédécesseur, M. Vauthier. « Quant à l'exécution de ce tunnel, dit-il dans son rapport à la compagnie, aucun ingénieur n'aurait la hardiesse de spécifier d'avance la nature des roches qui pourraient être rencontrées, quel serait l'avancement journalier et, par suite, quel temps il faudrait pour l'achèvement de cette gigantesque galerie. Il est évident aussi qu'aucun entrepreneur sérieux ne voudrait se charger d'une semblable construction pour un prix déterminé à l'avance. »

M. de Mondésir chargea en 1863 M. l'ingénieur Lehâitre d'une étude de la traversée du Simplon avec ce programme : *Exécution en cinq années ; exploitation sans transbordement*. Les courbes devaient avoir un minimum de 200 m. de rayon, les déclivités 40 pour mille, conditions autorisant l'emploi de machines à quatre cylindres et la circulation du matériel ordinaire à quatre roues.

Le caractère particulier du projet Lehâitre est qu'il admet le système des doubles

rebroussements, à la condition que la branche d'union, à l'inverse de la direction principale à suivre, soit la plus courte possible, afin de réduire les longueurs sur lesquelles la machine, se trouvant en queue, refoule le train devant elle.

Comme tous les tracés précédents, celui de M. Lehaitre part de Gliss et passe la Saltine au pont Napoléon ; il s'élève avec 40 ‰ jusqu'au Mattgraben où un rebroussement le ramène dans la gorge de la Saltine. Là se trouve une première aiguille d'un double rebroussement qui élève le tracé jusqu'à la route entre les refuges 1 et 2 où se place la seconde aiguille. Le tracé entre dans la gorge de la Ganther ; il passe le torrent en dessous par une galerie en courbe de 200 m. et rencontre de nouveau la Saltine. Il rebrousse ensuite sur Bodmen, où une dernière aiguille le dirige sur la tête du tunnel placée à 1680 m. d'altitude. Le tunnel est en courbe, long de 4 653 m., avec quatre puits variant de 80 et 225 m. de profondeur. La tête sud est à la cote 1700 m. Outre le souterrain, des galeries artificielles règnent sur toute l'étendue de la zone dangereuse des neiges.

Sur le versant sud, le tracé prend la rive gauche du Krumbach, rebrousse pour passer sur sa rive droite, pénètre dans la gorge de la Laquina qu'il traverse aussi par-dessous avec une galerie courbe de 225 m. ; il longe les flancs droits de la Laquina et de la Diveria jusqu'en face de Ponte Alto, où il rebrousse pour passer sur la rive gauche. A Gondo, il rebrousse encore et passe sous lui-même en nœud, comme on l'a fait au St. Gothard, et décrit un quatrième rebroussement vers le hameau de Paglino.

Ce tracé tourmenté, rebroussé deux fois sur les abords nord, quatre fois au sud, avec des déclivités de 40 ‰ sur les longues branches et de 25 sur les courtes, présentait encore 99 tunnels donnant un ensemble de 23 km. 200 m. et 21 km. 200 m. de galeries artificielles, total 44 km. 400 m. de protection. Il devait coûter 72 millions y compris le service des intérêts. Les machines devaient être du type Petiet, de 62 tonnes à 4 cylindres et 6 paires de roues couplées trois à trois.

Ce projet fut combattu par tous les ingénieurs compétents, comme compromettant l'avenir d'un passage international.

Projet Lommel. 1864.

Dans un travail publié en février 1864, M. G. Lommel, ingénieur, concluait au tunnel de base selon les idées de M. Vauthier et n'admettait les propositions de MM. Flachet et Thouvenot qu'à titre provisoire. Ses études comparatives sur les divers passages le conduisirent à proposer un tracé partant de Gliss pour entrer peu au-dessus dans un souterrain de 17 km. 500 m., débouchant à la cote 705, près de la frontière italienne, à Gondo. Un puits de 250 m. était prévu au nord ; un autre de 500 m. au sud, de façon à réduire la longueur de la partie du tunnel attaquée sans puits à 11 km. environ.

De Gondo, le tracé s'appuyait sur le flanc gauche de la Diveria, pénétrait dans celle de la Cherasca, puis venait par Varzo et Crevola aboutir à Domo avec des pentes de 20 à 25 pour mille. Ce projet se rapprochait sensiblement de celui de M. Vauthier, il adoptait les mêmes pentes de 20 à 24, une longueur analogue de souterrain ; la seule différence était dans la position des têtes et dans les déclivités intérieures que M. Lommel abaissait à 4 pour mille au lieu du 14 de M. Vauthier.

Projet Stockalper. 1869.

M. E. de Stockalper, de Sion, qui fut plus tard l'un des principaux ingénieurs de l'entreprise Favre au St. Gothard, a proposé en 1869 une variante aux projets Vauthier et Lommel en se posant comme programme : un tunnel de base, attaquant en partie par des puits dont la profondeur resterait inférieure à 300 m. ; réduire autant que possible la longueur du tunnel sans allonger la ligne.

L'auteur du projet part de Gliss avec une rampe de 15 mm. et passe la Saltine, comme toutes les études précédentes, au point forcé du pont Napoléon ; puis, par une galerie de 300 m., il pénètre dans la gorge de la Saltine où il entre bientôt en tunnel de 16 km. 150 m. de longueur à 771 m. d'altitude ; dans l'intérieur les déclivités sont de $\frac{1}{2} \text{ ‰}$ en rampe et en pente. Neuf puits inclinés, de 40 à 280 m. de profondeur, débouchant dans la vallée de la Saltine, faciliteraient le travail sur 2150 mètres de la partie nord la plus voisine de l'orifice.

La tête sud est, à la cote 790 m., très près de la frontière italienne de Gondo ; la pente de 25 ‰ n'est brisée que par les paliers des stations entre cette tête et Domo d'Ossola que le tracé atteint en suivant la rive gauche de la Diveria jusqu'à Crevola. Les travaux sur les abords sud présentent 19 tunnels d'une longueur cumulée de 5385 m.

M. de Stockalper estime que 11 à 12 ans seraient nécessaires pour exécuter ce travail dont il établit le devis à 77 540 000 fr. entre Brigue et Domo.

Projet Favre-Clo. 1875.

La Compagnie du Simplon, désireuse de connaître l'opinion de M. Favre, l'éminent entrepreneur du St. Gothard, le pria d'examiner la question et de l'éclairer de son expérience. M. Favre se prononça énergiquement pour un tunnel de base percé le plus bas possible, plus bas encore et par conséquent plus long que le projet Vauthier. C'était la première fois qu'on pensait à abandonner Gliss comme point de départ et le voisinage du pont Napoléon comme point d'entrée, et à attaquer le massif sur les rives mêmes du Rhône. M. Clo, ingénieur de la Compagnie du Simplon, l'auteur du premier avant-projet de 1857, fut chargé de ces études.

La tête nord se place en amont de Brigue, à la cote 680 m., celle du Rhône étant 676. Ces quatre mètres de différence servent de décharge aux déblais de la partie nord du tunnel, en les répandant sur toute la surface jadis inondée par le fleuve.

Le tunnel compte 19 km. 850 m. de longueur; ses déclivités intérieures sont de 1 ‰ au versant nord, et moins de $\frac{1}{2}$ ‰ au versant sud, jusqu'à la tête située un peu en aval d'Iselle, à la cote 644^m50. Sur 2130 m. au nord le tunnel reste attaquable par puits. D'Iselle le tracé Clo descend avec 15 ‰ la rive gauche de la Diveria. Il se tient donc au-dessous des tracés que nous avons décrits. Pour augmenter la longueur en raison de cette diminution de pente, M. Clo se développe dans le val Antigorio, qu'il traverse à la cote 399 avec une courbe de 400 m. de rayon. De là il gagne sans peine Domo d'Ossola. Ce tracé présente huit tunnels auxiliaires d'une longueur cumulée de 3180 m.

L'estimation de M. Clo est de 70 000 000 fr. pour le grand tunnel et 12 300 000 fr. pour la section Iselle-Domo. Ensemble 82 300 000 fr.

Projet de la Compagnie du Simplon. 1878.

Pendant ces études, la compagnie primitive du Simplon avait construit la ligne septentrionale dès le lac Léman jusqu'à Sierre. En 1873 et 1874 sa déchéance dut être prononcée en Suisse et en Italie pour cause d'inexécution de son cahier des charges, et sa concession fut transférée à une nouvelle société constituée sous le nom de « Compagnie du chemin de fer du Simplon. » Celle-ci acheva la construction de la ligne d'accès du côté nord et l'ouvrit à l'exploitation jusqu'à Brigue. En outre, après s'être attaché comme directeur technique M. Lommel, l'auteur de l'un des précédents avant-projets, elle fit reprendre toutes les études précédentes pour comparer leurs avantages et leurs inconvénients, fit faire une triangulation du massif, ainsi qu'un levé à grande échelle du terrain, et adopta le projet qui figura dans la section suisse de l'exposition universelle à Paris en 1878.

Ce projet s'écarte peu de ceux de MM. de Stockalper et Vauthier. Il diffère de celui de M. Vauthier en ce que, au lieu d'imposer une double traction entre Domo et Brigue, il la limite entre Domo et Iselle, en portant la pente sud à 23,7 sur toute la longueur, déduction faite des paliers des stations, — il remonte la tête sud et abaisse la tête nord. — Il diffère de celui de M. de Stockalper par la position des têtes et surtout en s'éloignant un peu plus de la gorge de la Saltine et supprimant les galeries inclinées faisant l'office de puits.

Le projet de la Compagnie du Simplon part de Gliss avec 11 ‰, passe la Saltine en aval du pont Napoléon, voûte le torrent et jette par-dessus les déblais du tunnel pour y installer la gare internationale. Il entre en souterrain sur la rive droite de ce torrent à la

cote 744. Le tunnel devait avoir 18 km. 507 m. de longueur sans puits ; ses déclivités intérieures étaient de 2 à 4,5 ‰. Sa tête sud à Iselle sortait à la cote 687. La pente de 23,7 ‰ du versant italien suivait la rive gauche de la Diveria jusque près de Crevola où il passait sur la rive droite de la Toce comme celui de M. de Stockalper.

On voit par cet exposé des différentes études faites au Simplon que l'idée d'un tunnel de base a gagné sans cesse du terrain et qu'elle est aujourd'hui généralement admise. On n'en est plus aux craintes exprimées par M. Piarron de Mondésir. Le succès du Mont Cenis, celui plus concluant encore du St Gothard et les résultats si remarquables et si rapides obtenus à l'Arlberg, ont démontré que les longs souterrains sont entrés dans le domaine des travaux courants, pourvu que les forces motrices nécessaires à la ventilation et aux perforatrices soient assurées. Aujourd'hui toute proposition pour passer par-dessus le col avec un matériel spécial, tout projet longeant les flancs de la montagne avec de fortes rampes, pour diminuer la longueur du tunnel de faite, sont surannés.

Pendant qu'on faisait en Suisse des travaux préparatoires et qu'on construisait la ligne d'accès du Simplon, la question se posait également en France et en Italie.

En Italie, où des travaux de terrassement et quelques travaux d'art avaient déjà été exécutés dans la vallée de l'Ossola, le Simplon trouva des promoteurs actifs et persévérants. Nous devons rappeler ici les écrits de MM. les ingénieurs Protasi, Tatti et Garrone. Des comités d'initiative se formèrent successivement à Domo, à Novare et se groupèrent autour d'un comité siégeant à Milan sous le patronage de la Chambre de commerce.

En France, à peine le Gothard était-il décidé qu'on proposa de lui opposer le Simplon. Des projets de loi, présentés d'abord en 1870 et 1871 mais ajournés à cause des événements politiques, ont été reproduits récemment. Les Chambres de commerce de Paris, Rouen, Bordeaux, Besançon, les conseils généraux de plusieurs départements ont attiré l'attention du gouvernement sur l'importance de la question et en ont réclamé la solution prochaine.

Le 16 novembre 1880, M. Léon Renault déposait sur le bureau de la Chambre des députés une proposition de loi tendant à ce qu'un crédit annuel de cinq millions de francs fût mis à la disposition du gouvernement pendant dix ans à partir de 1884, pour être appliqué à la traversée du Simplon.

M. Dupont de son côté demandait qu'on n'ouvrît la discussion sur la proposition Renault que lorsque les études entreprises pour le percement du Mont Blanc seraient achevées, de façon à ce que la Chambre pût procéder à un examen comparatif des deux lignes.

L'affaire fut renvoyée à la vingt troisième commission d'initiative parlementaire.

Le 9 mars 1881, cette commission présentait son rapport par l'organe de M. Loubet; elle concluait à la prise en considération des propositions Renault et Dupont. Ces conclusions furent adoptées, et une commission spéciale fut désignée pour l'étude des diverses traversées des Alpes. Elle examina le terrain et surtout les abords du Mont Blanc et du Simplon. Elle appela devant elle les représentants des divers projets et après les avoir entendus, elle présenta le 12 juillet 1881 son rapport par l'organe de M. Brossard. Ce rapport, tout en constatant qu'aucun plan de percement du Mont Blanc n'avait été soumis à la commission, élève contre le projet du Simplon deux critiques principales : les pentes trop fortes sur le versant italien et les mauvaises conditions du passage du Jura de Dôle à Lausanne. Le rapport concluait à la nécessité d'études nouvelles, principalement en ce qui concerne le Mont Blanc. La fin de la législature ne permit pas à un vote d'intervenir.

Au moment où ces faits se produisaient à Paris, la Compagnie du chemin de fer du Simplon se fusionnait avec la Compagnie des chemins de fer de la Suisse Occidentale, formant ainsi un réseau qui s'étend dès Pontarlier jusqu'à Berne, à Genève et au haut de la vallée du Rhône. L'un des premiers soins de la compagnie fusionnée et du comité spécial du Simplon fut d'ordonner de nouvelles études destinées à tenir compte des critiques élevées contre le projet de 1878 et à améliorer les conditions du passage du Jura.

Ce sont ces nouvelles études, faites en 1881 et 1882 sous la direction de M. Meyer, ingénieur en chef de la construction de la compagnie de la Suisse Occidentale et du Simplon, qui font l'objet des chapitres suivants.

Un chapitre spécial sera consacré à la géologie et à la question de chaleur intérieure, nouveau facteur avec lequel il importe de compter au plus près depuis l'expérience qu'on en a faite aux travaux du St. Gothard.

A ces questions se joindra naturellement celle des forces hydrauliques disponibles au Simplon.

CHAPITRE II

PROGRAMME DES ÉTUDES EXÉCUTÉES EN 1881 ET 1882

Méthodes suivies.

En présence des discussions sur la déclivité la plus convenable à adopter et des idées divergentes émises à cet égard, il devenait nécessaire d'élargir le champ des études, en faisant des levés topographiques étendus qui permettent la comparaison des divers projets.

Ces levés ont été exécutés sur les deux rives de la Diveria, afin de pouvoir comparer également ces deux côtés sous le rapport de la facilité qu'ils offrent pour l'établissement de la ligne. On a, sur l'une et sur l'autre rive, levé tout le terrain compris entre la ligne de pente de 24 ‰ correspondant au projet de 1878 et une ligne de pente de 12,5 ‰ qui forme la limite supérieure des tracés. Déjà, à l'occasion du passage de la commission parlementaire française, en juin 1881, la Compagnie de la Suisse Occidentale et du Simplon avait fait jalonner, par son service de la construction, sur les deux rives de la Diveria, des lignes de pente à 13,5 ‰.

La Commission parlementaire ayant exprimé le désir de voir réaliser ces études, nous chargeâmes, dès le mois de juillet 1881, *M. Meyer, ingénieur en chef du service de la construction de la Compagnie*, de les poursuivre, et lui ouvrîmes, à cet effet, les crédits nécessaires.

Nous lui adjoinîmes, pour diriger les travaux sur le terrain, M. l'ingénieur *Lochmann* ; il fut secondé dans ce travail par M. Jules *Crausaz*, ingénieur attaché au service de la construction de la Compagnie. Après le départ de M. Lochmann, appelé plus tard aux fonctions de colonel du génie et de chef du bureau topographique de la Confédération,

M. l'ingénieur Crausaz fut chargé des fonctions de chef de bureau pour l'achèvement des projets.

De nouvelles lignes de pente à 12,5 ‰ furent tracées sur les deux rives de la Diveria au moyen de nivellements exécutés au baromètre anéroïde et en se rattachant aux repères du nivellement de précision ¹ qui suit la route jusqu'à Domo d'Ossola. La ligne de la rive droite pénètre dans la vallée de la Bogna, et rejoint le thalweg de la vallée de la Toce à Megolo, à 17 km. en aval de Domo et vis-à-vis de Vogogna. C'est là qu'elle se raccorde avec la ligne projetée en 1862 et en partie exécutée par l'ancienne Compagnie de la ligne d'Italie.

La ligne de la rive gauche, après avoir traversé le coteau de Varzo, se retourne vers Campelia et Enso, au-dessus de Crevola, dans la vallée principale de la Toce, puis se développe dans le val Antigorio, suivant le versant droit de cette dernière, qu'elle traverse en dessous de Crodo. Elle continue à descendre sur la rive gauche jusqu'à Masera ; de là elle traverse la Toce pour déboucher à Domo.

Une fois ces lignes d'opération jalonnées, on prolongea jusqu'à Megolo et Vogogna la triangulation établie en 1876 par la Compagnie du Simplon, triangulation qui s'arrêtait à Domo d'Ossola. Cette opération fut faite avec des théodolites à répétition de 0^m,21 de diamètre utilisés pour le tracé du Gothard. On rattacha à cette triangulation le polygone formé par la ligne de pente et on obtint des coordonnées géographiques de chacun de ces sommets par rapport au méridien de Berne. L'altitude de chacun de ces points fut en outre déterminée par un rattachement au nivellement de précision obtenu, suivant les cas, par un nivellement direct ou par un nivellement trigonométrique. Ces lignes de pente ou ces polygones formèrent donc les lignes d'opération.

La ligne, depuis la tête du tunnel jusqu'à Megolo, fut divisée en 14 feuilles de planchettes ; 3 feuilles supplémentaires devaient compléter le lever du terrain pour l'étude de la variante dans le val Antigorio.

Ces opérations préliminaires de tracé des lignes de pente prirent les mois de juillet et d'août. On commença en septembre le lever à la planchette de la première feuille, près d'Iselle ; les autres furent successivement mises en œuvre. Onze ingénieurs topographes, MM. Pestalozzi, Frey, Baumann, Brossy, Wylenmann, Imobersteg, Lehmann, Dürheim, Favre, Suter et Stucky, furent occupés à ce travail. Plusieurs d'entre eux avaient travaillé aux études définitives des lignes d'accès du Gothard, d'autres aux levés de la carte topographique suisse.

Grâce au temps excessivement favorable, le lever des 14 feuilles pour le tracé direct a été terminé le 20 janvier 1882.

¹ Nivellement exécuté en 1874 et 1875 par la commission géodésique fédérale, sous la direction de MM. les professeurs Hirsch et Plantamour, et destiné aussi à la mesure du degré pour l'Europe centrale.

Le procédé employé est celui du lever à la planchette, avec la stadia topographique, c'est-à-dire la méthode de M. Wild, utilisée depuis nombre d'années pour la carte topographique suisse pour les études du Gothard et pour toutes les nouvelles lignes construites en Suisse depuis 10 à 12 ans. Cette méthode est beaucoup plus rapide et tout aussi, si ce n'est plus exacte, que celle des levés au tachéomètre. Le figuré du terrain est fait sur place, et les opérateurs dessinent les courbes de niveau sur le terrain pendant qu'ils l'ont sous les yeux, tandis qu'avec le tachéomètre les courbes de niveau sont tracées plus tard, alors que l'opérateur n'a plus le terrain sous les yeux, ce qui présente moins de garantie d'exactitude.

Sur les feuilles minutes, tous les points levés sont indiqués par leurs cotes d'altitude absolue. Ces cotes sont au nombre de 300 à 500 par décimètre carré, c'est-à-dire que les points cotés sont de 10 à 15 m. de distance sur le terrain. Nous n'avons pas indiqué les cotes sur les reproductions lithographiques de nos projets, nous nous sommes bornés à indiquer les courbes de niveau, ceci dans le but de ne pas surcharger trop le dessin.

L'échelle choisie a été celle du 1/5000 et l'équidistance des courbes a été admise à 5 m. dans les coteaux fortement inclinés, et à 1 et 2 m. dans les plaines.

Cette échelle est suffisante pour représenter les détails essentiels du relief du terrain, pour pouvoir calculer les mouvements des terres, les murs de soutènement, et pour étudier les ouvrages d'art.

Le temps n'a pas permis de lever les trois feuilles du val Antigorio ; on s'est borné à tracer et repérer le polygone et à faire un nivellement de repères sur la route. Si l'on veut faire des projets basés sur l'utilisation de la vallée d'Antigorio, c'est-à-dire reposant sur les mêmes données que les projets Favre-Clo que nous avons décrits au chapitre I^{er}, mais en pénétrant plus haut dans la vallée, à cause du plus grand développement que nécessite l'adoption d'une déclivité plus faible, soit 12,5 ‰ ou 13 ‰ au lieu de 15 ‰, il faudra lever encore ces trois feuilles. Nous nous sommes dispensés de le faire parce que, pour les raisons que nous indiquerons plus loin, l'adoption de ce tracé ne nous paraît guère avoir de chances, et que les renseignements que nous avons sont suffisants pour le discuter et le comparer aux autres tracés.

Quant au versant nord, de la gare actuelle de Brigue à la tête du tunnel, nous avons procédé de la même manière. Ce lever a fait l'objet d'une feuille unique ; il a été exécuté du 10 février au 14 mars.

Tous ces levés avaient été faits dans la supposition que le gouvernement italien conservait, comme direction générale de la ligne de Domo d'Ossola à Gravelone, celle qui avait été adoptée en 1861 par l'ancienne Compagnie d'Italie, c'est-à-dire la rive droite de la Toce. Ce n'est qu'au commencement de 1882, et alors que notre projet principal

était terminé jusqu'à Loro, que nous apprîmes que le gouvernement italien adoptait un autre tracé, suivant à peu près la direction générale de la route du Simplon, c'est-à-dire franchissant la rivière de la Toce à la Tellia, près de Miggiandone, pour desservir Cuzzago, Premosello et Vogogna, traversant à nouveau la Toce entre Vogogna et Piève Vergonte pour venir rejoindre, à Piédimulera, les travaux de l'ancienne Compagnie d'Italie, dès ce point, en grande partie terminés jusqu'à Domo d'Ossola. Il devenait donc nécessaire de modifier notre projet et de nous raccorder à Piédimulera au lieu de Megolo, soit à 3 km. 850, plus en arrière, ce qui pouvait se réaliser en augmentant le développement dans la vallée de Bognanco. De ce fait, les levers des feuilles N° 13 et 14 et une partie de la feuille N° 12 furent inutilisés ; en revanche on fut obligé de compléter un peu les levers de la feuille N° 6 en pénétrant plus en amont dans la vallée de Bognanco. Le projet dut donc être refait entièrement sur une longueur de 16 km., ce qui amena un retard de quelques semaines dans l'achèvement de ces travaux.

Le travail sur le terrain terminé, les ingénieurs s'occupèrent activement des travaux de cabinet nécessaires à l'achèvement des projets.

Ils commencèrent par l'étude du projet principal, soit celui avec pente de 12,5 mm.; en même temps on en établissait le profil en long à la même échelle du $\frac{1}{5000}$ pour les longueurs et du $\frac{1}{500}$ pour les hauteurs. Après avoir déterminé la ligne la plus avantageuse, soit au point de vue des terrassements soit à celui des ouvrages d'art, cette ligne fut rapportée sur le plan et l'on prit à l'échelle du plan les coordonnées géographiques de ses sommets par rapport aux lignes les plus voisines du réseau qui avait été tracé et repéré sur les plans, réseau dont les côtés étaient de 1 dm. soit 500 m. On a obtenu ainsi une exactitude à un mètre près, et même dans cette limite une erreur ne pouvait se reproduire, puisque cette opération se répétait pour chaque sommet, ce qui permet d'admettre une compensation.

Au moyen de ces coordonnées des sommets d'angles du tracé, on pouvait calculer les azimuts des côtés, en déduire les angles que forment entre eux ces côtés, soit les angles des sommets, puis calculer tous les éléments en plan du tracé : distances de sommet à sommet, longueur des tangentes, développement des courbes, longueur des alignements, et obtenir la longueur totale de la ligne, aussi exactement que si on l'eût tracée et chaînée sur le terrain.

Dans leur ensemble ces données ont le même degré d'exactitude que la triangulation.

Sur cette ligne d'axe ainsi déterminée, il a été construit des profils en travers au $\frac{1}{500}$ distants de 20 m. en moyenne. Aux points où se présentaient des ouvrages d'art spéciaux, tels que des viaducs, il a été construit en outre des profils en long spéciaux à l'échelle du $\frac{1}{500}$ sur lesquels on a pu tracer les avant-projets de ces ouvrages pour en

faire l'évaluation. Il faut ajouter que dans le lever on avait eu soin de relever à ces endroits un plus grand nombre de points.

Simultanément avec ces opérations on prépara les types devant servir à l'étude du projet, soit les profils types de la voie, des tunnels, des perrés, murs de soutènement, travaux de défense. On établit une série de prix analytique très détaillée, en tenant compte des matériaux disponibles dans le pays et de leurs frais de transport à pied d'œuvre. Pour les viaducs en maçonnerie, on détermina sur la base de ces séries de prix et d'un très grand nombre d'ouvrages analogues exécutés sur d'autres lignes, plus spécialement au Gothard, des prix par mètre superficiel, pour différentes portées et différentes hauteurs. Pour les tabliers des viaducs en fer, il a été établi un tableau des poids par mètre courant, pour chaque portée, basé sur les poids de plusieurs centaines d'ouvrages récents et spécialement de ceux des lignes du Gothard présentant une certaine analogie.

On a ensuite rapporté le projet avec tous ses détails, talus, murs de soutènement, etc., sur les profils en travers. On a planimétré les surfaces, pour calculer le cube des terres, et construit l'épure graphique du mouvement des terres pour déterminer les distances moyennes et les sections de transport. Les ouvrages d'art courants ont fait l'objet d'avant-projets spéciaux qui ont été métrés et auxquels on a appliqué les prix de la série. C'est sur ces bases, et en prenant une marge considérable, que le devis estimatif a été établi.

Cette étude de détail a été rapportée sur le profil en long et sur le plan de situation au $\frac{1}{5000}$; on y a figuré les talus en remblai et déblai, les murs de soutènement, les perrés, les déviations de routes, chemins, cours d'eau, les tunnels, les viaducs, les aqueducs, etc.

Lorsque ce travail fut terminé et avant d'y mettre la dernière main, l'ingénieur en chef parcourut tout le tracé, examinant chaque point en particulier. Les corrections de détail apportées au tracé furent peu nombreuses; cette inspection permit de constater combien la méthode employée est exacte.

La position de chaque ouvrage d'art, la forme et les dimensions à lui donner, les conditions spéciales de ses fondations firent partie de cette même étude détaillée; c'est sur ces données que furent basés les avant-projets et les devis de ces ouvrages. Dans chaque tranchée et dans chaque tunnel la nature des terrains et des roches fut aussi examinée et c'est seulement après cette révision que furent arrêtés les avant-métrés et les devis estimatifs. On voit donc que ce travail détaillé peut présenter les garanties désirables pour un bon avant-projet définitif, mais il n'a été fait que pour le projet principal, avec rampe de 12,5 mm.

Pour les autres projets, examinés au chapitre VI, on s'est borné à en tracer l'axe sur le plan et à construire les éléments du tracé, par la méthode que nous venons d'indiquer, sans construire de profils en travers et sans faire de projets spéciaux. On a néanmoins pu déterminer ainsi la longueur des tunnels et les dimensions principales des viaducs. L'estimation en a été faite par analogie. Si la discussion se portait sérieusement sur tel ou tel de ces projets concurremment avec le projet principal, les éléments que nous possédons nous permettraient de préparer en quelques semaines des avant-projets aussi complets que pour le tracé au 12,5 ‰.

Ces documents nous permettraient de même d'étudier rapidement tout projet intermédiaire, ou de donner un aperçu général de sa valeur comparative avec les autres projets étudiés.

CHAPITRE III

TRACÉ DU GRAND TUNNEL

A. Altitude et déclivités.

Pour obtenir des déclivités plus faibles que celles du projet de 1878, il faut que le tunnel débouche au sud à l'altitude la plus basse possible, ne dépassant pas 630 m. au-dessus de la mer. Au-dessous d'Iselle, la route du Simplon passe en galerie sous une grande paroi de rochers qui est le prolongement, jusque dans le fond de la vallée de la Diveria, des arêtes rocheuses du pic de Vallè. Cette galerie forme, pour ainsi dire, une limite climatérique et orographique; en amont le thalweg de la vallée ne se prête pas à un régime de faibles déclivités et les neiges y sont beaucoup plus abondantes. C'est donc à 250 m. environ en aval de cette galerie et dans la gorge formée par le ruisseau de la Fontaine, que nous avons placé, à l'altitude de 627^m83, la tête sud de notre tunnel. Une position à peu près identique avait été indiquée dans la brochure publiée en 1881 par M. G.-T. Lommel, ancien directeur de la Compagnie du Simplon, intitulée *Etude sur la chaleur souterraine*. Un coup d'œil jeté sur les plans, et mieux encore sur le terrain, fait voir que, du moment où l'on cherche une altitude inférieure à 630 m., cet emplacement s'impose.

Une autre considération devait entrer en ligne de compte pour la fixation de l'axe du tunnel, c'est le point de vue géothermique, c'est-à-dire la température probable qu'on rencontrera à l'intérieur.

L'attention des ingénieurs et celle de la commission parlementaire française qui s'est occupée du Simplon en 1881, avait été attirée sur ce point par les difficultés qu'on a rencontrées au tunnel du Gothard en raison de la température intérieure relativement élevée (30°8 centigrades) et qui, combinée avec une ventilation insuffisante, incommodait beaucoup les ouvriers.

Cette question a fait l'objet d'une étude spéciale de la part des géologues que nous avons consultés; sans empiéter sur leur travail qui sera publié au complet, nous en donnerons ici le résumé.

Nous avons préparé, pour servir de base à leur étude, des profils en long du massif au-dessus du tracé de notre tunnel, et de kilomètre en kilomètre des profils en travers assez étendus, donnant une idée exacte du relief du massif. Nous avons fait faire un travail analogue pour les massifs du Mont Cenis et du Gothard, où l'on avait des observations sur les températures intérieures. On a construit, pour ces deux derniers tunnels, les courbes géothermiques, c'est-à-dire celles qui représentent les points qui ont à l'intérieur du massif la même température, et les relations qui existent entre la forme de ces courbes et les profils extérieurs du massif ont été étudiées. Par analogie on a cherché à construire ces mêmes courbes pour le massif du Simplon.

Ce travail eut lieu pour le tracé en ligne droite reliant les deux têtes; il indiquait une température maxima de 36° à 39° . En examinant les profils en travers, on a vu qu'en brisant la ligne et en prenant le sommet d'angle dans la vallée de la Cherasca le plus près possible du thalweg, on se rapprochait beaucoup des flancs de cette vallée, que les hauteurs du massif superposé diminuaient et qu'on bénéficiait du refroidissement produit par les grands évidements que forment les deux cirques rencontrés dans la vallée de la Cherasca, celui de l'alpe Diveglia en haut et ceux de Campo ou Nembro ou Vallè, situés plus bas. Nous avons fait faire, en juillet 1882, un lever topographique spécial dans cette partie, pour pouvoir mieux étudier cette question.

C'est ainsi que, par des tâtonnements successifs, la position la plus avantageuse au point de vue géothermique a été choisie; nous la décrivons en détail plus loin. Les applications des résultats du Mont Cenis et du Gothard font prévoir ici une température qui pourra varier entre 32° et 35° , peu différente de celle rencontrée au Gothard, mais régnant sur une plus grande longueur en raison de la forme aplatie du massif.

La même application avait été faite au tracé du tunnel projeté en 1878 passant sous le sommet du Monte Leone, et par conséquent sous des massifs superposés de 2275 m. à 2780 m. d'épaisseur, ce qui laissait prévoir une température intérieure pouvant atteindre 48° .

Une application analogue a été faite par les géologues au tunnel projeté sous le Mont Blanc, où l'on rencontrerait des altitudes allant de 4500 m. à 4700 m., soit une épaisseur de superposition de 3500 m. à 3700 m., laissant prévoir une température pouvant s'élever jusqu'à 52° .

Une autre condition était aussi de nature à influencer sur le choix de la tête nord du tunnel. Dans la vallée de la Saltine les géologues avaient déjà, en 1876, indiqué des couches de gypse, plongeant depuis le thalweg vers le tunnel et pouvant donner lieu à

des infiltrations et à des accidents dans le genre de ceux rencontrés au Gothard sous Andermatt.

Le plongement de ces couches est tel que, si l'on se reporte plus au nord, elles auront passé sous le niveau du tunnel et deviendront ainsi inoffensives.

Cette considération se combine avec celle de la chaleur, car en reportant la tête nord du tunnel plus en amont dans la vallée du Rhône, on évite le massif du Monte Leone et on se rapproche des versants de la vallée de la Cherasca.

C'est ce qui nous a amenés à placer la tête nord à 2448^m50 de l'axe de la gare actuelle de Brigue, dans l'enfoncement que forme le ruisseau de Thermen, vis-à-vis de Masseggen. Le tunnel déboucherait dans la plaine d'alluvion formée par les « glariers » du Rhône à l'altitude de 689 m. au-dessus de la mer, soit à 5 m. environ au-dessus des eaux du Rhône.

La ligne droite qui réunit ces deux têtes de tunnel a une longueur de 19 km. 639 m. calculée d'après la triangulation.

Au moyen des profils en travers établis d'après les cartes topographiques, on est arrivé à choisir une ligne brisée avec les mêmes têtes. La brisure est à 4700 m. environ en arrière de la tête sud, avec une ordonnée de 1070 m.; elle forme un angle au sommet de 162° 37' 55". Ce sommet tombe sous le vallon de Vallè, latéral et situé à droite de la vallée de la Cherasca. La longueur totale de ce tunnel brisé, calculée également d'après la triangulation, est de 19 km. 795 m., soit un allongement de 157 m. sur la ligne droite. Sur ces 19 km. 795 m, il y a 9 km. 376^m50 sur territoire suisse et 10 km. 418^m50 sur territoire italien.

Le profil en long adopté est le suivant : Altitude tête nord 689 m. Rampe de 0^m,002 par mètre sur 9500 m., strictement suffisante pour un bon écoulement des eaux.

Altitude du point culminant, 708 m.; palier avec courbes verticales de raccordement de 273^m29 de longueur. Pente de 0^m008 sur 10 km. 021^m36; altitude tête sud 627^m83.

Les deux alignements de 14 km. 662^m60 et 4692^m43 sont raccordés au sommet par une courbe de 1000 m. de rayon et de 303^m13 de développement.

Le tunnel est prolongé en ligne droite au nord, mais il y a une courbe de raccordement de 500 m. de rayon et de 136^m90 de développement. La forme du massif superposé donne 2900 m. comme maximum d'altitude sous le *Eurggenbaumhorn*, soit 2292 m. d'épaisseur de superposition; mais ce maximum n'existe que sur une faible longueur, puisque à 200 m. au sud et à 500 m. au nord nous n'avons plus que 2500 m. d'altitude soit 1792 m. d'épaisseur de massif superposé, à peu près comme au Gothard.

A 6000 m. de la tête nord, sous la vallée de la Ganther, près de Bérissal, le tracé passe à 700 m. au-dessous du sol; à 4560 m. de la tête sud, sous le val de Valle, il passe égale-

ment à 800 m. au-dessous de la surface. Nous verrons dans un chapitre suivant le parti qu'on peut tirer de ces conditions.

L'application des courbes géothermiques à ce tracé fait prévoir une température intérieure maxima comprise entre 34° à 37°, soit 2° de moins que pour le premier tracé en ligne droite.

C'est ce tracé qui figure sur nos projets et sur lequel ont été basés nos devis.

Dans l'été 1882 une inspection faite par l'ingénieur en chef et les géologues consultés par nous, leur permit de constater que les évidements de la vallée de la Cherasca et spécialement de ses vallons ou bassins de l'alpe Diveglia, et de celui de l'alpe de Campo ou de Nembro, sont plus accentués, plus ouverts que les cartes ne les représentent, et par conséquent plus avantageux au point de vue thermique. On détermina alors, dans le second de ces vallons, un ou deux points rattachés à notre triangulation, soit en situation, soit en altitude, et sur cette base on leva une partie du vallon au $\frac{1}{50\,000}$ à la planchette, avec stadia topographique. Ce lever permit de rectifier le profil en long et les profils en travers du massif superposé.

L'étude de ces profils nous amena à augmenter un peu la brisure, de manière à porter le sommet d'angle au fond des vallons près du pont de Campo, et au pied de la chute que fait la Cherasca.

Le pied de l'ordonnée de la brisure serait situé à 5260 m. en arrière de la tête sud sur la droite reliant les deux têtes, l'ordonnée de la brisure aurait 1720 m. et l'angle formé au sommet par les deux directions serait de 155°32' 29", ce qui donnerait comme longueur 19 km. 999^m42 (disons 20 km.) ou un nouvel allongement de 205 m.

Nous aurions à la tête nord une courbe de 124 m. et de 500 m. de rayon suivie d'un alignement de 14 km. 094^m39, au sommet d'une courbe de 1000 m. de rayon et de 444^m38 de développement, et enfin d'un alignement de 5336^m65.

Au point de vue du massif superposé, le maximum serait à l'altitude de 2750 m. sous le *Furggenbaumhorn*; mais à 300 m. à droite et à gauche on descend à 2500 m., ce qui donnerait une hauteur superposée de 1795 m.

A 6500 m. de la tête nord, on passerait sous la vallée de la Ganther à une profondeur de 1000 m. et à 5300 m. avant la tête sud, on passerait sous la vallée de l'alpe de Nembro ou de Campo, à une profondeur de 680 m.

L'application des courbes géothermiques à ce tracé fait prévoir une température intérieure maxima, qui serait comprise entre 32° et 35°, soit 2° de gagnés sur le précédent et 4° sur le tracé en ligne droite.

Le coût de cet allongement du tunnel a été ajouté à nos devis par 800 000 fr.

B. Conditions géologiques et thermiques.

Le massif du Simplon a été l'objet de nombreuses explorations géologiques. L'ouvrage classique de M. *Bernhard Studer* ¹ contient plusieurs renseignements précieux à cet égard, entre autres (vol. I, pag. 223) une coupe de Mörel au val di Vedro par l'alpe Diveglia, Campo et Trasquera qui se rapproche beaucoup de la direction de notre souterrain. En 1859, M. l'ingénieur *Gerlach*, l'un des géologues les plus distingués de l'Allemagne, étudiait les alpes pennines pour la carte géologique suisse. M. L.-L. Vauthier, ingénieur en chef de la ligne d'Italie, occupé à l'étude du projet dont nous avons parlé au chapitre I^{er}, page 5, chargea M. Gerlach d'établir une carte et des coupes géologiques du massif du Simplon. Ce rapport de M. Gerlach fut présenté en 1859; il est très complet et n'a pas été publié, mais M. Vauthier en a donné une analyse dans son travail de 1874 ², pag. 22 et 23.

En 1877 la Compagnie du Simplon fit faire une nouvelle expertise géologique portant sur les directions qu'elle proposait alors pour le grand tunnel. Elle en chargea MM. *E. Renevier*, professeur à l'académie de Lausanne, *A. Heim*, professeur à l'école polytechnique de Zurich et *Ch. Lory*, professeur à la faculté des sciences de Grenoble. Le résultat de cette exploration a été publié par M. Renevier dans le *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles* ³, et en tirage à part. Cette note est accompagnée de deux coupes géologiques à l'échelle du $\frac{1}{25\,000}$, l'une se rapportant au tracé alors proposé pour le tunnel par la Compagnie du Simplon, c'est-à-dire le tracé haut, de 18 km. 507 m. de longueur, et l'autre à un tracé débouchant en face de Naters dans la plaine du Rhône et qui se rapproche, pour la partie nord, de celui que nous proposons.

En 1881 nous avons prié ces mêmes géologues d'examiner les conditions géologiques du tunnel projeté sous le Mont Blanc. Le résultat de leurs constatations fut consigné dans un rapport du mois de décembre reproduit à la fin de ce chapitre. M. Lory fut empêché d'assister à cette expertise, mais il exprima son opinion dans une lettre du 12 août 1881 également transcrite.

En 1882, lorsque nous eûmes arrêté les nouveaux tracés pour le tunnel et les lignes d'accès, nous priâmes ces mêmes géologues auxquels nous adjoignîmes M. *Taramelli*, professeur à l'université de Pavie, de faire une nouvelle exploration géologique plus complète du Simplon. Ils y procédèrent dans le commencement d'août 1882 et furent accompagnés par l'ingénieur en chef et l'ingénieur ayant dirigé les études sur le terrain.

¹ *Geologie der Schweiz*. 2 vol. Berne et Zurich, 1851.

² *Le percement du Simplon et l'intérêt commercial de la France*. Paris, A. Lechevalier, 1874.

³ *Bulletin*, vol. XV, N° 79, pag. 281 et suiv., mars 1878. Lausanne, librairie Rouge et Dubois.

On voit que cette étude des conditions géologiques a été faite par les hommes les plus compétents et d'une manière complète et approfondie. Elle présente donc les plus grandes garanties.

Différentes circonstances ont empêché cette commission de terminer son rapport assez tôt pour que nous puissions l'insérer ici. Nous le publierons dès que nous l'aurons en mains. En attendant, M. Renevier a bien voulu nous donner un résumé des résultats de cette nouvelle expertise que nous reproduisons ci-après.

L'étude avait principalement pour but d'examiner les deux tracés coudés dont nous avons donné la description dans la première partie de ce chapitre et spécialement celui de 20 km.

Rapport du 4 novembre 1882 de M. le professeur Renevier.

Comparé aux projets précédents, ce tracé ne nous a pas présenté de différences pétrographiques notables, mais l'étude plus attentive que nous avons pu en faire nous a révélé divers faits géologiques, qui nous avaient échappé dans notre expertise de 1877 et qui ont une certaine portée technique. Pour les conditions géothermiques ce tracé est le plus avantageux de tous ceux qui ont été soumis à notre examen.

Au point de vue géologique proprement dit, le tunnel du Simplon se subdivise en trois sections bien distinctes que j'examinerai séparément. Sur la longueur totale, le tunnel serait constamment percé dans la roche en place ; nulle part il ne traverserait les amas erratiques, soit glaciaires, soit torrentiels¹, qui sont si fort à redouter pour de semblables travaux, en ce qu'ils exigent de forts boisages, créent des difficultés qui arrêtent la perforation mécanique et exigent des revêtements d'épaisseur considérable.

I. SECTION SEPTENTRIONALE

sur une longueur de 3 1/2 à 4 kilomètres.

Cette première section est en entier comprise dans les *schistes lustrés* appelés aussi *schistes gris* qui constituent presque totalement le premier chaînon parallèle au Rhône, c'est-à-dire le Rosswald, le Kleinhorn, etc. Ces schistes sont de couleur foncée, marneux, plus ou moins micacés, très feuilletés et peu consistants. Ils sont parsemés de veines quartzieuses blanches, prenant souvent la forme lenticulaire quelquefois assez épaisses. Sur le Briggerberg j'en ai constaté dont l'épaisseur atteignait un mètre.

Au point de vue du travail de perforation ces schistes seront tout à fait similaires à ceux qu'on a rencontré au Gothard sous la vallée d'Urseren et qu'on y a désignés du nom de *schwarze Glanzschiefer*². Leur résistance sera la même, c'est-à-dire très faible, ils se perceront donc facilement et rapidement, les veines quartzieuses seules opposeront plus de résistance. Une fois percés on peut s'attendre à ce que nos schistes lustrés du Simplon se comporteront mieux que leurs similaires du Gothard, qui sont beaucoup plus fendillés et plus fortement imprégnés d'eau, en raison des infiltrations abondantes qu'ils reçoivent des alluvions de la plaine d'Andermatt, fonctionnant comme une vaste éponge. Au Simplon, au contraire, les schistes lustrés sont passablement secs et la configuration du sol au-dessus de ce tracé

¹ Voir plus loin le rapport de MM. Heim et Renevier et la lettre de M. Lory, qui établissent qu'au Mont Blanc la galerie sous vallée rencontrerait ces terrains.

² Echantillons N^{os} 42, 67, 73 et 75 de la collection des roches trouvées au Gothard, côté nord.

exclut toute crainte d'infiltrations. On n'aura donc pas à prévoir, pour cette section, de revêtements de dimensions exceptionnelles, sauf peut-être sur de très faibles longueurs.

Il en serait tout autrement si l'on devait atteindre, sur une certaine étendue, les couches de gypse qui accompagnent ailleurs les schistes gris. Heureusement que la grande bande gypseuse de la berge du Rhône, sous Termen, vient plonger sous le sol alluvial du Rhône, à 250 mètres en amont de la tête nord, et passe de cette façon bien en dessous du niveau du tunnel.

Il existe, il est vrai, dans les gorges de la Saltine, en dessous de Lingwurm, un affleurement gypseux qui appartient évidemment à une autre bande, laquelle, prolongée dans sa direction naturelle, pourrait affleurer dans le tunnel en dessous de Schlucht, ou à peu près. Mais nous n'en avons retrouvé aucune trace aux environs de Schlucht, et il se peut parfaitement que ce petit pointement de gypse, qui présente à Lingwurm l'apparence d'une anticlinale, ne se continue pas assez loin pour être rencontré dans le tunnel. Nous n'avons malheureusement aucun moyen de déterminer si le tunnel percerait ce gypse, ou non ; mais ce que je puis dire avec certitude, c'est que, s'il y est rencontré, le danger sera infiniment moindre que cela n'eût été le cas dans le premier tracé soumis à notre examen en 1877 (projet de la Compagnie du Simplon, longueur 18 km. 507 m.) qui passait presque en dessous du torrent de la Saltine, et à une très faible distance verticale. Sous Schlucht, au contraire, le tunnel serait déjà à 300 mètres environ en dessous de la surface, et dans une région où les infiltrations sont beaucoup moins à craindre. C'est déjà la raison qui nous avait porté, en 1877, à nous prononcer catégoriquement en faveur du tracé bas (dit tracé bleu), dont l'entrée nord était peu distante de celle des nouveaux projets de 1881-1882.

L'inclinaison des couches est assez variable dans cette première section. Dans la berge du Rhône nous avons vu les schistes lustrés plonger au S.-E. de 20° jusqu'à 35° et même 40°, suivant les points. L'inclinaison augmente à mesure qu'on s'élève, et sur la partie culminante du Briggerberg elle se rapproche sensiblement de la verticale. Au versant sud du Briggerberg, dans le petit vallon de Bach, nous avons trouvé un plongement inverse, variant de 25° à 50° au N.-O., c'est-à-dire contre le Rhône. Au bord de la grande route, en dessous de Schlucht, les couches sont de nouveau inclinées au S.-E. Au-dessus de Schlucht, au bas de la montée de Termenalp, le plongement est de 40° au S.-E. Il s'accroît en montant la côte, et atteint 46° aux chalets de Termenalp. De l'autre côté de Rosswald, sur le versant qui regarde Bérisal, le plongement est de nouveau inverse, soit contre le N.-O.

Nous avons là, évidemment, une succession de plis anticlinaux et synclinaux, qui se manifesteront sans doute aussi dans le tunnel, sans que nous puissions préciser sous quelle inclinaison les schistes lustrés s'y présenteront. Quelques observations toutefois peuvent nous faire prévoir qu'on les y rencontrera généralement plus fortement inclinés qu'à la surface, et se rapprochant souvent de la verticale. Dans le ravin à l'est de Termenalp, on voit les couches se redresser de plus en plus, à mesure qu'on se rapproche de l'arête de Rosswald, et affecter ainsi une disposition en *éventail* ou mieux en *gerbe*. La même disposition s'observe sur la continuation de la même chaîne, le long de la route du Simplon, entre Bleiche-Kapelle 1241 m. et Schallberg 1321 m. ; là on peut voir la gerbe complète et l'on passe, presque sans s'en apercevoir, de l'inclinaison de 70° S.-E. au plongement inverse de 60° N.-O. En dessous, dans les gorges de la Saltine, les schistes lustrés paraissent presque constamment verticaux. C'est déjà ce que nous avons constaté en 1877 et ce que j'ai représenté dans les coupes qui accompagnent ma notice sur le massif du Simplon¹. Or, le tracé du tunnel alors projeté se trouvait de deux à trois cent mètres plus bas que le niveau de la Saltine ; il eût atteint ces couches dans la partie inférieure de la gerbe, et, selon toute probabilité, le plus souvent presque entièrement verticales, sauf à proximité de la tête nord.

Cette verticalité des couches me paraît devoir être un grand avantage pour le tunnel, comme mon collègue M. le professeur Heim le faisait remarquer dans son rapport de 1877. Elle leur donnerait une

¹ *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, vol. XV, pl. 20 et 21, déjà cité.

beaucoup plus grande résistance à l'écrasement et permettrait d'adopter des revêtements d'une moindre épaisseur que ne l'exigeraient les mêmes schistes s'ils étaient horizontaux. Il reste pourtant quelque chose d'un peu aléatoire dans cette détermination du plongement des schistes lustrés dans le tunnel ; c'est pourquoi je ne formulerai pas de chiffres précis, pour le parcours de cette première section. Si, en effet, les schistes gris s'enfoncent verticalement, et avec eux, de même, les dolomies qui limitent cette section au S.-E., la longueur de celle-ci devra être presque exactement de 4 kilomètres. Si au contraire ces couches se recourbent déjà au niveau du tunnel pour former le pli synclinal de Rosswald, cette longueur sera diminuée en proportion de leur courbure.

II. SECTION CENTRALE

sur une longueur d'environ 9 à 10 kilomètres.

La section centrale du tunnel serait entièrement comprise dans les *schistes cristallins feuilletés*, très variés et irrégulièrement entremêlés ; ils ne présenteraient pas de différences très sensibles au point de vue technique.

Nous avons constaté au moins 7 bancs calcaires interstratifiés avec ces schistes cristallins, lesquels varient de 20 à 50 m. d'épaisseur chacun et dont la puissance totale doit être de 200 à 300 m. au moins. Plusieurs sont des *dolomies* assez tendres, comme les deux assises constatées sur le sentier de Eisten à Unterstaffel, qui ne sont séparées l'une de l'autre que par une centaine de mètres de gneiss. Elles équivalent pour la dureté aux dolomies d'Airolo¹. D'autres sont des *marbres saccharoïdes* passant au *cipolin*, comme le banc calcaire du pont de la Saltine, sous Bérissal, et celui de Casparione, au-dessus de Campo, que traverse la Cherasca. Ces roches calcaires correspondent tout à fait, au point de vue technique, au marbre cristallin trouvé dans le tunnel du Gothard sous Altkirch (Andermatt), dans lequel le percement a eu son maximum d'avancement².

Parmi les schistes cristallins qui constituent le sol de cette section du tunnel, les plus tendres sont les *micaschistes*, plus ou moins *calcarifères* ou *granatifères*, ainsi que d'autres schistes feuilletés, *sériciteux* ou *chloriteux*, qui ont leurs analogues de même nom dans le tunnel du Gothard³.

D'autres, au contraire, sont un peu plus résistants et tenaces, comme les *gneiss schisteux* qui ont leurs analogues dans le *Sellagneiss* du Gothard⁴ et les *schistes amphiboliques*, tout à fait semblables aux *Hornblendeschiefer*⁵.

Il me serait impossible de donner, même approximativement, la proportion de longueur suivant laquelle le tunnel pourrait traverser chacun de ces divers schistes cristallins, mais au point de vue technique ils peuvent être pris en bloc, vu leur analogie de consistance.

La stratification de ces schistes est, en général, assez uniforme, et leur plongement presque toujours dirigé au N.-O. Les gneiss, depuis la dolomie d'Unterstaffel jusqu'à Steinenthal, ont une inclinaison très forte, d'au moins 50° au N.-O. Sur la rive gauche de la Saltine, en amont de Bérissal, au passage du second affluent, nous avons constaté des schistes amphiboliques presque verticaux. Un peu plus au sud ces mêmes schistes ne plongent plus que de 38° au N.-O. Plus loin, dans la même direction, ce sont des

¹ Echantillons n° 4 et 8 de la *série sud* des roches rencontrées au Gothard.

² Echantillons n° 45, 47, 48 et 51 des roches du Gothard, *série nord*.

³ *Glimmerschiefer* : Echantillons n° 19, 21, 23 et 24, *série sud*. — *Kalkglimmerschiefer* : Echantillons n° 57, *série sud* ; n° 50 et 53, *série nord*. — *Granatglimmerschiefer* : Echantillons n° 59, *série sud*. — *Sericitschiefer* : Echantillons n° 65, 68, 69, 70 et 71, *série nord*.

⁴ N° 140 à 150, *série sud*.

⁵ N° 26, 28, *série sud* ; N° 119^b *série nord*.

micaschistes très variés, dont l'inclinaison est de plus en plus faible à mesure qu'on s'élève contre l'arête d'Avrona, d'abord 26°, puis sous le glacier 15° seulement, toujours au N.-O.

La seule partie de cette section centrale où nous ayons constaté un plongement inverse, est précisément l'arête culminante de Avrona-Wasenhorn. Au col même d'Avrona, l'inclinaison est de 30° au S.-E., puis, sur le revers sud, elle devient plus forte, et atteint 75°. A la descente du col, on voit les couches à peu près parallèles à la pente de la montagne, s'enfoncer sous les éboulis, qui empêchent de voir dans quel sens elles se recourbent plus bas. Cette observation, qui n'est pas sans importance au point de vue orographique, nous avait échappé en 1877, et devra être contrôlée plus tard sur d'autres points de la chaîne, pour voir si le repli est local, ou s'il se continue tout le long de l'arête.

Plus bas, le plongement N.-O. recommence. D'abord des schistes amphiboliques inclinés de 10° seulement, recouvrant des gneiss gris, à plongement un peu plus accentué, qui forment tout ce côté du cirque de Diveglia, et constituent dans cette direction le soubassement du Monte Leone. Au delà de Campo Raverio, sur la rive droite du ruisseau de Vio, alternances de bancs dolomitiques et de micaschistes, plongeant de 20° à 25° au N.-O. Plus bas, sur le chemin de Nembro, l'inclinaison s'accroît jusqu'à 30°, dans les micaschistes intercalés de schistes amphiboliques, et jusqu'à 35° et même 40° dans le marbre saccharoïde de Casparione, lequel recouvre encore 200 m. environ de micaschistes, avec intercalation de gneiss glandulaire (*Augengneiss*).

Ces différences d'inclinaisons, sur lesquelles nous ne sommes pas encore complètement fixés, n'ont que peu d'importance au point de vue technique. Elles n'influeront en effet que sur le plus ou moins d'inclinaison suivant laquelle les schistes cristallins seront rencontrés dans le tunnel, et très légèrement sur la longueur totale de cette section centrale, mais en aucune manière sur la nature et la consistance des couches traversées. Or ces schistes cristallins ont tous suffisamment de solidité pour qu'il importe peu sous quel angle le tunnel les coupera. Ce sont en somme des roches favorables au percement, ni trop dures ni trop tendres, intermédiaires sous ce rapport entre les roches des sections nord et sud.

Les infiltrations sont d'ailleurs peu à craindre dans cette section centrale, en raison, soit de la nature des roches, soit de la grande profondeur du tunnel, soit enfin de l'écoulement facile des eaux superficielles.

III. SECTION MÉRIDIONALE

sur une longueur de 6 à 7 kilomètres.

La troisième section qui commencerait un peu avant le coude, au sommet des deux branches du tunnel près de Campo, et irait jusqu'à la sortie sud, serait encore comprise tout entière dans des roches cristallines, mais dont une partie, tout au moins, serait de nature plus massive et plus dure que les schistes de la section centrale. C'est ici que nos observations de cet été m'amènent à un résultat un peu différent de celui que nous avons précédemment annoncé.

Dans nos rapports de 1877 et 1878, nous avons considéré cette section méridionale du tunnel comme ne devant traverser que le gneiss granitoïde que Gerlach a désigné sous le nom de *gneiss d'Antigorio*. Nous admettions que ce gneiss formait une large voûte, ou anticlinale régulière, surmontée, de droite et de gauche, par les schistes cristallins feuilletés contenant vers leur base la bande inférieure de marbre saccharoïde¹.

Cette année, en suivant le cours de la Cherasca, nous avons constaté, au-dessous de l'épaisse masse des *gneiss d'Antigorio*, de nouveaux schistes micacés feuilletés, plus ou moins calcaireux, qui com-

¹ Voir pl. 20 et 21 du *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, vol. XV, déjà cité.

mençant en aval du pont de San Bernardo, près de Gebbo, et s'étendent jusqu'aux environs de Varzo, formant ainsi toute la partie encaissée du cours inférieur de la Cherasca. Ces schistes, il est vrai, avaient déjà été figurés par Gerlach dans sa carte géologique des Alpes pennines, mais comme les tracés que nous avons précédemment étudiés, devaient déboucher en amont d'Iselle, nous n'avions pas eu l'idée d'aller chercher des documents dans le bas de la vallée de la Cherasca. Encore maintenant il me paraît fort douteux qu'avec les tracés de 1877 de la compagnie du Simplon, le tunnel eût atteint ces micaschistes inférieurs; tout au plus les eût-il effleurés.

Mais il en est tout autrement du tracé coudé de 1882, qui a servi de base à nos dernières études. Celui-ci passant presque sous la Punta del Teggiolo, à moins de deux kilomètres du thalweg de la Cherasca, et à un niveau d'une soixantaine de mètres plus inférieur, doit nécessairement rencontrer ces schistes feuilletés sur un assez long parcours. Pour m'en assurer j'ai construit une coupe géologique transversale à la direction du tunnel, allant d'Algaby au pont San Bernardo, près de Gebbo, en passant sous le Teggiolo. Cette coupe m'a donné l'épaisseur probable du gneiss d'Antigorio, et en transportant celle-ci sur la coupe longitudinale suivant l'axe du tunnel, je trouve que la partie centrale de cette troisième section devrait traverser les *micaschistes feuilletés* sur une longueur d'environ $3\frac{1}{2}$ kilomètres. Le gneiss d'Antigorio, formant voûte, les recouvre sur toute cette étendue, et serait percé par le tunnel aux deux extrémités de cette section, sur deux kilomètres environ du côté nord, et sur un peu plus d'un demi kilomètre du côté sud, précisément à l'entrée de la galerie. Cela ferait, au total, de $2\frac{1}{2}$ à 3 kilomètres de gneiss d'Antigorio, au lieu de 6 kilomètres environ mentionnés pour les précédents tracés. Il va sans dire que ces chiffres ne peuvent être qu'approximatifs et seraient plus ou moins modifiés par les changements de courbure des couches dans l'intérieur.

Quant à la résistance relative de ces deux espèces de roches, il est facile de s'en faire une idée en les comparant à leurs analogues du Gothard. Les *micaschistes* inférieurs ne seraient certainement pas plus durs à percer que ceux de la section centrale, et trouvent, comme eux, leurs équivalents dans les *Glimmerschiefer* rencontrés au Gothard. Le *gneiss d'Antigorio* peut être comparé au gneiss granitoïde du massif du Finsteraarhorn (*Granitgneiss*¹), et sera même probablement moins dur. L'un et l'autre sont d'ailleurs des roches solides qui ne nécessiteront pas de forts revêtements, le gneiss d'Antigorio moins que toute autre roche du Simplon.

Au pont de San Bernardo près de Gebbo, nous avons constaté un petit lambeau de *gypse*, pulvérulent sur un point, cristallin et micacé sur un autre. La question doit naturellement se poser si ce gypse forme une couche constante, au contact du micaschiste et du gneiss d'Antigorio, et si par conséquent il se retrouverait dans le tunnel, ou s'il n'existe là que par l'effet d'une cause tout à fait locale? La faiblesse de ce lambeau de gypse, et l'absence dans le voisinage d'autres affleurements semblables, pourraient faire pencher pour la seconde alternative. C'était, si je ne me trompe, l'opinion de mes collègues MM. Lory et Heim. Toutefois, dût la couche être constante, et se retrouver dans le tunnel, cela ne m'effrayerait pas et j'y verrais beaucoup moins d'inconvénients qu'à un pointement de gypse au milieu des schistes lustrés.

En effet, ce gypse serait rencontré deux fois, dans une position oblique, sur une très petite longueur. Ce serait l'affaire de deux ou trois anneaux d'un revêtement plus fort. N'atteignant pas la surface extérieure, ce gypse ne produirait aucune infiltration, et le gneiss d'Antigorio, qui le recouvre, a une telle consistance qu'il ne pourrait en résulter aucune poussée, surtout vu la disposition particulière des couches. Il semble donc que, s'il y a du gypse, celui-ci ne pourrait pas se trouver dans une situation plus favorable pour les travaux à exécuter.

¹ Echantillons N^{os} 8, 15, 17, 26 de la série nord du Gothard.

IV. QUESTION THERMIQUE

Nous ne possédons pas encore un nombre suffisant d'observations sur la température souterraine des régions de montagnes pour nous permettre de déterminer d'avance, d'une manière exacte, le degré de chaleur qu'on rencontre sur les différents points d'un tunnel à construire. En effet, la température n'est pas une fonction de la profondeur seulement, ni de la plus courte distance de la surface, mais bien plutôt de la forme générale du relief du sol, combinée avec les conditions de conductibilité des roches qui composent la montagne.

Nous pouvons toutefois estimer la température probable qu'on rencontrera dans le tunnel du Simplon, avec une erreur possible de \pm ou $-$ 3° centigrades, et cela grâce aux observations faites au tunnel du Mont Cenis et surtout à celui du Gothard. Cela est d'autant plus réalisable que les roches du Simplon sont, comme nous venons de le voir, très semblables à celles du Gothard, et devront avoir par conséquent beaucoup d'analogie au point de vue de leur conductibilité. Les conditions thermiques du tunnel du Simplon seront sans doute plus défavorables que celles du Gothard, dans lequel la température rencontrée a atteint le maximum de 30°75 centigrades. Toutefois, si l'on choisit le tracé coudé qui nous a été soumis en dernier lieu (août 1882, longueur 20 km.), ces conditions se trouvent moins défavorables qu'on ne l'avait prétendu, et en tout cas bien meilleures que dans le projet du Mont Blanc, dans lequel, sur une longueur de 3 kilomètres, on dépasserait, selon toute probabilité, le chiffre de 50° centigrades ¹.

En cherchant à évaluer la température par comparaison avec le Gothard, pour le tracé coudé que vous avez soumis à notre examen, mon collègue, M. Heim, trouve les moyennes probables ci-après : à 3 kilomètres environ de la tête nord, on atteindrait 30° centigrades. Ce chiffre ne s'accroîtrait guère jusqu'au 7^e kilomètre. De là jusqu'au 9^e kilomètre, sous l'arête d'Avrona, la chaleur s'accroîtrait jusqu'à 35° centigrades. C'est là qu'on peut s'attendre à trouver le maximum de chaleur souterraine. La température serait de nouveau décroissante jusqu'au 11^e kilomètre où l'on se retrouverait probablement à 30° centigrades environ. De là on peut supposer qu'elle se maintiendrait à peu près constante jusqu'à 2 kilomètres de la tête sud, pour décroître alors rapidement.

De tous les tracés proposés jusqu'ici pour le tunnel du Simplon, le plus favorable, au point de vue thermique, est incontestablement ce dernier dans lequel le maximum de chaleur ne paraît pas devoir surpasser 35° centigrades. Ce chiffre aurait été de plusieurs degrés plus élevé avec les précédents projets, qui passaient plus directement sous le grand massif du Monte Leone, tandis que le tracé actuel profite de la vallée de la Saltine supérieure et surtout de celle de la Cherasca, avec son magnifique cirque de Diveglia.

Ce tracé permettrait en outre de forer deux puits de ventilation. Par ce moyen et par d'autres procédés semblables, il nous paraît hors de doute qu'on pourrait abaisser encore sensiblement la température maximum à l'intérieur du tunnel. Si, en outre, on y introduisait fréquemment des wagons de glace, on parviendrait non seulement à rafraîchir l'air intérieur de la galerie, mais surtout à le dessécher, grâce à la propriété que possède, à un haut degré, la glace, de condenser les vapeurs.

Dans ces conditions et avec les précautions dictées par l'expérience, il est à peu près certain que, malgré les quatre à cinq degrés de plus de température, le travail pourrait devenir plus facile dans le tunnel du Simplon qu'il ne l'a été dans celui du Gothard.

¹ Voir à la suite le rapport de MM. Heim et Renevier, de décembre 1881.

V. AVANTAGES DU TRACÉ COUDÉ

Le nouveau tracé d'août 1882 (longueur 20 km.) me paraît, quoique légèrement plus long, bien plus avantageux que les divers projets qui nous ont été précédemment soumis.

Il leur est préférable au point de vue géologique, surtout par les raisons suivantes :

a) Passant autant que possible sous les vallées et évitant le massif du Monte Leone, il présenterait des conditions thermiques bien plus favorables, dans les limites desquelles (35° centigrades) le travail humain est parfaitement praticable.

b) La température générale du tunnel pourrait être encore abaissée artificiellement, mieux que dans aucun autre tracé, par le moyen de deux puits d'aération, qui réduiraient le tronçon central compris entre eux à 9 ou même 8 kilomètres environ.

c) Il présente le maximum de garanties possibles, relativement à la rencontre éventuelle d'amas gypseux. Il évite certainement le gypse des berges du Rhône, sous Termen. Il évite probablement le pointement gypseux des gorges de la Saltine, sous Lingwurm, ou, s'il le rencontre, ce sera dans des conditions infiniment moins dangereuses au point de vue des infiltrations. Il évite l'affleurement gypseux de Grund. Enfin, s'il venait à rencontrer le gypse du pont San Bernardo, ce serait encore dans les conditions les plus favorables; tandis que les deux tracés haut et bas de 1877 de la compagnie du Simplon risqueraient de rencontrer précisément le sommet de la voûte des micaschistes inférieurs, et par conséquent d'avoir un beaucoup plus long trajet dans ce gypse, si toutefois celui-ci forme un banc continu sous le Teggiolo.

d) La traversée du *gneiss d'Antigorio*, roche la plus dure et la plus résistante au percement, se trouverait considérablement abrégée; elle serait de 3 kilomètres environ au lieu de 6, et le surplus serait remplacé par des schistes cristallins plus tendres à percer, mais néanmoins assez résistants pour qu'on n'ait pas à craindre des pressions considérables et par conséquent pas à prévoir des revêtements d'épaisseur exceptionnelle, surtout si l'on considère que le gneiss compacte d'Antigorio les recouvre en voûte.

e) Quant aux infiltrations ordinaires au travers des terrains non gypseux, les chances de les voir se produire sont à peu près les mêmes dans le projet coudé que dans le tracé bas de 1877, c'est-à-dire bien plus favorables que pour le tracé haut (longueur 18 km. 507 m.) de même date. Si le nouveau tracé suit autant que possible les thalweg, il le fait cependant à une profondeur qui varie de 625 à 1000 mètres, ce qui réduit singulièrement les chances d'infiltration. Au contraire, dans sa partie nord, où la profondeur est bien moindre, il s'éloigne beaucoup de la Saltine, dont les infiltrations, au travers des schistes lustrés presque verticaux, eussent été à redouter.

Voilà quels me paraissent être les avantages du nouveau tracé coudé. Quant à ses désavantages, sauf son petit excédant de longueur, je n'en connais aucun.

J'ajoute qu'on trouvera facilement, à proximité des deux entrées du tunnel, d'excellents matériaux de construction, soit pour les revêtements, soit pour les autres travaux d'art. A la tête sud vous aurez le gneiss d'Antigorio, qui forme les deux flancs du val di Vedro. Vis-à-vis de la tête nord vous trouverez des matériaux analogues dans les gneiss des environs de Naters, qui s'étendent de droite et de gauche, le long du versant nord de la vallée du Rhône.

Lausanne, le 4 novembre 1882.

E. RENEVIER, professeur.

Nous publions comme pièces annexes deux documents qui se rattachent au chapitre précédent et qui complètent en même temps le chapitre VIII relatif à la comparaison entre le Simplon et le Mont Blanc.

ANNEXE I

Rapport d'expertise géologique. sur la partie méridionale du projet de tunnel du Mont Blanc. _____géologique.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Sur la demande de M. Meyer, ingénieur en chef de la construction de la compagnie fusionnée Suisse Occidentale et Simplon, nous nous sommes rendus le 10 août 1881 à Courmayeur par le val Ferret, en vue de comparer les conditions géologiques du tunnel projeté par le Mont Blanc, avec celles du Simplon que nous avons exploré en 1877, ainsi qu'avec les résultats fournis par le tunnel du Gothard.

Notre collègue, M. le professeur Ch. Lory, de Grenoble, qui nous avait accompagné au Simplon et aurait dû collaborer avec nous dans cette expertise, n'a malheureusement pas pu nous rejoindre à Courmayeur, comme cela lui avait été demandé¹.

Nous n'avons pu consacrer que trois ou quatre jours à l'étude en question, mais cet examen nous a paru suffisant pour nous rendre compte clairement de la constitution géologique de la contrée et pour vérifier les observations de M. Baretta, par le fait surtout qu'il n'y a point de tracé définitivement arrêté et piqueté et que, faute de bons levés topographiques détaillés (la carte au 1/50000 est très inexacte), il ne peut être question d'une étude précise, mais seulement d'une exploration générale.

Déjà, en nous rendant à Courmayeur, nous avons pu poursuivre les diverses zones géologiques depuis Martigny, et raccorder ainsi les terrains de cette région avec ceux du Valais qui nous étaient bien plus familiers.

Connaissant M. Baretta comme un géologue expérimenté, nous ne nous attendions pas à trouver sa coupe en défaut; mais en parcourant ce tracé, M. l'ingénieur Meyer avait cru observer des terrains qui lui rappelaient la « mauvaise partie » du tunnel du Gothard, et il nous avait priés de porter spécialement notre attention sur ce point. Nous avons trouvé la coupe de M. Baretta juste dans son ensemble, mais présentant toutefois certaines inexactitudes qui paraissent provenir de son ardent désir de voir se réaliser la percée du Mont Blanc et qui tendent à atténuer les difficultés de cette gigantesque entreprise. Nous les indiquerons tout à l'heure, en énumérant les terrains que nous avons rencontrés à partir de l'entrée sud du tunnel.

Quant à une « mauvaise partie » analogue à celle du tunnel du Gothard sous la vallée d'Andermatt, nous devons dire que nous n'avons rencontré, sur aucun point, des roches semblables aux gneiss en voie de décomposition qui ont si fortement entravé l'entreprise de MM. L. Favre et C^{ie}. Les glissements du tunnel du Gothard sont dus à une altération du feldspath, qui, sous l'influence des infiltrations, se transforme en kaolin. L'argile ainsi formée, pressée par les masses supérieures, tend à boucher continuellement le tunnel, et il a fallu des travaux exceptionnels de revêtement pour retenir ce terrain en place. Cette kaolinisation du feldspath est à peine accusée à l'extérieur du sol et pourrait facilement se produire à l'intérieur sans qu'on puisse la prévoir extérieurement. Toutefois l'un de nous (M. Heim) qui

¹ Voyez pag. 44, une lettre de M. le prof. Lory.

connaît mieux les environs d'Andermatt, et qui a vu à la surface les indices de cette altération intérieure, déclare qu'il n'a rien remarqué d'analogue sur le trajet de la galerie sous vallée d'Entrèves à Pré Saint-Didier.

C'est à l'ouest de la Saxe qu'on aurait le plus de chance de rencontrer, dans le tunnel, un phénomène analogue à la « mauvaise partie » du Gothard; car le gneiss du Mont Chétif pourrait s'y trouver décomposé par les eaux minérales de la Saxe. Toutefois nous n'avons rencontré aucun indice certain d'une semblable décomposition.

Les échantillons de roche de la « mauvaise partie » du Gothard (km. 2790-2815) que M. l'ingénieur Meyer a reçus en communication de M. l'ingénieur Stockalper, sont d'ailleurs absolument différents de tout ce que nous avons pu voir aux environs de Courmayeur.

Quant à la comparaison avec le tunnel projeté du Simplon, nous pouvons dire que s'il y a quelque analogie géologique entre les deux tracés, il y a aussi de grandes différences qui nous paraissent certainement favorables au Simplon. L'un et l'autre tunnel se subdivisent en deux parties : une grande section traversant des roches cristallines sous la portion la plus élevée du massif, et une plus courte traversant des roches sédimentaires principalement schisteuses, beaucoup moins solides. Seulement la section schisteuse se trouve, dans le Mont Blanc, au versant sud, et dans le Simplon au versant nord. Dans l'un et l'autre, ces roches schisteuses sont très fortement inclinées et parfois rapprochées de la verticale. Dans le projet du Mont Blanc cette section non cristalline, plus tendre à percer, mais beaucoup plus sujette aux infiltrations et nécessitant beaucoup plus de revêtement, forme presque le *tiers* du tunnel; tandis que, dans le projet du Simplon, elle en forme à peine le *cinquième*.

La section cristalline présente dans le projet du Mont Blanc la disposition en éventail, comme au Gothard, tandis que dans le projet du Simplon elle forme une calotte ou portion de voûte régulière. La roche cristalline la plus résistante du Simplon est le gneiss d'Antigorio, qui forme le centre de la voûte. Il peut être comparé à la protogyne du Mont Blanc, mais nous le croyons moins dur à percer que la protogyne; en tout cas les autres schistes cristallins du Simplon offriront bien moins de résistance.

Nous ne voulons pas poursuivre ces comparaisons jusque dans le détail; les différences ressortiront suffisamment si l'on compare l'analyse géologique que nous allons faire du tunnel du Mont Blanc avec celle que nous avons faite en 1877 du tunnel du Simplon.

En résumé, les avantages du Simplon sur le Mont Blanc nous paraissent être, au point de vue spécialement géologique :

- a) Des roches cristallines, en somme moins résistantes.
- b) Beaucoup moins de gypses et de cornieules à traverser; ou même peut-être presque point si l'on abandonne, comme il en est question, l'entrée nord au-dessus de Brigue, pour la reporter en dessous de Bühl¹. Ces roches (gypses, etc.) sont parmi les plus redoutables dans un tunnel.
- c) Beaucoup moins de dangers d'infiltrations, surtout avec le tracé susmentionné, et pas de risque de faire tarir des sources minérales importantes.
- d) Une température beaucoup moins élevée dans le centre du tunnel, par suite de l'altitude moins considérable des sommets culminants, et surtout par l'effet de deux vallées transverses latérales qui sont une cause de refroidissement du massif.

Nous ne connaissons au tunnel du Simplon qu'un seul désavantage sur le Mont Blanc, c'est d'être plus long²; mais il rachète cet inconvénient par son altitude bien moindre et son abord beaucoup plus facile.

La section du tunnel, de Champey à Entrèves, devra être considérée comme un travail des plus dangereux et coûteux. Le nom de « galerie d'accès » qu'on lui décerne n'en diminuera pas les difficultés;

¹ C'est ce qui a été fait, comme on l'a vu par ce qui précède.

² Soit 19 km. 795 m. au lieu de 19 km. 220 m. ou 575 m. en plus.

cette section est dans le fait, et restera bien réellement, une portion du grand tunnel, et même une des plus difficiles.

Nous ne comprenons pas davantage pourquoi on donne ici au tracé de pareilles courbures. Celles-ci allongent inutilement le tunnel; elles augmentent les difficultés et les dangers, en rapprochant le tracé du thalweg d'une vallée si riche en eaux. Un tunnel en ligne droite de Tacconnaz à Champey serait presque d'un kilomètre plus court et éviterait une partie au moins des difficultés hydrologiques à prévoir, sans pour cela rencontrer de roches différentes. Mais dans ce cas il faudrait avouer que la ligne du Mont Blanc nécessite, à 1000 m. d'altitude, un tunnel presque aussi long que celui du Simplon, qui ne serait qu'à 689 m. au nord et 627^m83 au sud au-dessus de la mer.

Voilà les considérations générales que nous avons à présenter, spécialement en ce qui concerne la comparaison des deux tunnels. Ces considérations sont basées sur l'analyse géologique du tracé du tunnel par le Mont Blanc, à laquelle nous allons procéder maintenant dans les quatre chapitres ci-dessous.

- A. Roches de la « galerie sous vallée » de Champey à Entrèves.
- B. Conditions hydrologiques de cette même section.
- C. Conditions thermiques du « grand tunnel. »
- D. Rampe méridionale d'accès d'Aoste à Champey.

A. ROCHES DE LA « GALERIE SOUS VALLÉE » DE CHAMPEY A ENTRÈVES

Le tracé projeté entre en tunnel à Champey (Saint-Pé?) un peu au nord de Pré Saint-Didier. Là se trouvent d'énormes accumulations de terrain erratique plus ou moins remanié et de déjections torrentielles. M. Baretta les marque sur sa coupe, mais il y figure une interruption juste à la tête du tunnel, de façon à faire entrer celui-ci immédiatement dans la roche en place. Quelle que soit d'ailleurs la situation exacte de ce *portail sud*, la chose nous paraît impossible. Il faut de toute nécessité que le tunnel traverse l'erratique, sur un parcours d'une certaine longueur que nous ne pouvons déterminer. Il faudrait des levés topographiques exacts et peut-être même des sondages pour évaluer l'épaisseur de ce revêtement de terrains meubles.

Nous devons donc commencer notre énumération par :

1° **Erratique.** Plus ou moins remanié par la Doire, et alluvions des torrents latéraux (torrent de Vey, etc.); accumulation de graviers et blocs de toutes grosseurs, parmi lesquels beaucoup de blocs de *protogine*. *Terrain éminemment défavorable au percement, à cause de son peu de cohésion générale, joint à la dureté des éléments qui le composent.* Longueur indéterminée de 60 à 400 m. Infiltrations probablement assez fortes sur le côté ouest du tunnel.

2° **Calschistes micacés.** M. Baretta a bien défini cette roche qui constitue toutes les montagnes des environs de Pré Saint-Didier. C'est un calcaire cristallin schistoïde dont les plaques plus ou moins minces sont séparées par des feuillets de mica. Cette roche est très analogue aux dalles de Sembrancher, bien connues chez nous par leur fréquent emploi industriel. Seulement, dans les calschistes du Crammont sur Champey, le grain est plus cristallin et le mica plus abondant et plus distinct. Cette roche nous paraît très favorable au forage, vu sa dureté moyenne uniforme et sa cohésion; mais il est fort probable qu'au lieu de la parcourir sur 1150 m, comme l'annonce M. Baretta, le tunnel ne l'atteindrait qu'après avoir traversé le revêtement d'erratique et n'en rencontrerait que 800 à 1050 m. au plus.

3° **Calcaires massifs.** M. Baretta annonce ensuite 1650 m. de calcaires essentiellement compacts, avec de minces intercalations schisteuses. C'est ici que nos observations s'accordent le moins avec les siennes. Nous avons trouvé, en effet, à partir du torrent de Planey, des calcaires massifs, parfois

dolomitiques, plus ou moins finement cristallins, avec quelques intercalations peu importantes. Ces roches, arrangées en bancs épais, peuvent être considérées comme favorables au percement, quoique plus dures que le N° 2; mais le tunnel ne les traverserait que sur 1000 ou 1100 m. au plus.

Le reste du parcours, jusqu'au torrent de la Victoire ou de Dollone, est formé au contraire d'un ensemble stratigraphique bien connu dans nos Alpes et attribué généralement au trias : gypse, cornieule et calcaire dolomitique. *Ce sont, à nos yeux, les terrains les plus défavorables qu'on puisse rencontrer dans un tunnel.*

4° **Gypse.** Depuis 2100 m. environ de l'entrée sud du tunnel, un peu en aval de l'alignement de la source de Sainte-Marguerite, jusque bien près de la source de la Victoire, le tunnel aura à traverser, sur une longueur que nous devons estimer à 350 m. au moins, une *puissante masse de gypse* qui sort de dessous les calcaires précités et présente de rares intercalations de schistes argileux noirs. Nous ne comprenons pas comment M. Baretta a pu établir sa coupe géologique sur l'axe du tunnel sans y marquer plus explicitement ces gypses. Il ne les représente sur son profil que par deux petites lignes pointillées en vert, et ne les mentionne dans son texte (pag. 16) que par la phrase suivante :

Sur quelques points ces calcaires sont métamorphosés en gypses cristallins, très homogènes et compactes à l'intérieur, et non terreux, comme on les trouve généralement dans les Alpes.

Cette phrase nous montre que M. Baretta, entraîné par un point de vue théorique, à nos yeux entièrement faux, et de plus en plus abandonné maintenant, considère les gypses comme des *accidents locaux* résultant d'une *épigénie* des calcaires. Le gypse se trouvant généralement recouvert par la terre végétale sur la ligne même du tunnel, M. Baretta se sera imaginé que l'épigénie n'avait pas eu lieu sur ce point.

Nous estimons au contraire que les gypses des Alpes sont des *dépôts hydatogènes réguliers*, et notre expérience nous enseigne qu'ils forment en général des bandes continues sur d'assez grandes longueurs.

Or, ainsi que nous avons pu nous en assurer, ces gypses constituent presque tout le flanc sud de la vallée qui débouche à Dollone. De Courmayeur on les voit former d'immenses rochers blancs dans le fond de cette vallée, en avant du lac Chécouri.

Cela est tellement évident que, sur la carte au $\frac{1}{50000}$ qui accompagne son mémoire, M. Baretta indique le gypse sur d'assez grandes étendues en amont, mais en diminue beaucoup la surface dans le bas de la vallée, et l'interrompt presque entièrement à l'approche du tunnel.

Or il est très facile d'en constater la présence sur la ligne même du tracé. Un peu au-dessus de la source de la Victoire se trouve une carrière de gypse, avec plongement S.-E. de 35°; en continuant à se diriger au S.-E., parallèlement au torrent, toutes les éraillures du sol végétal montrent le gypse en place, jusqu'au confluent avec la Doire Baltée. Là, sur le bord d'une haute terrasse d'alluvions glaciaires qui domine ce confluent, nous avons constaté les couches de gypse plongeant de 30° seulement.

Cette diminution d'inclinaison indique une faible courbure des couches, de nature à augmenter le trajet du tunnel dans le gypse. Etant d'environ 140 m. plus bas, le tunnel rencontrera des couches de gypse n'ayant probablement plus qu'une inclinaison de 25° environ. Or plus l'inclinaison sera faible, plus la section du gypse sera allongée.

Ce qui prouve d'ailleurs que la bande gypseuse n'est point interrompue au passage du tunnel, c'est que le gypse se retrouve de l'autre côté de la Doire, dans la vallée qui débouche à la Saxe, immédiatement au-dessus du cône de déjection, et qu'il y joue un rôle tout aussi important que dans la vallée qui s'ouvre à Dollone. D'autre part il est connu qu'à l'intérieur du sol, parfois à une très petite profondeur, comme l'un de nous (M. Renevier) a pu le constater lors de la construction de la route d'Ollon à Panex (Vaud), le gypse se trouve souvent à l'état d'*anhydrite*. Celle-ci, exposée à l'humidité et à l'air, absorbe de l'eau et se transforme lentement en gypse. Dans cette hydratation, l'anhydrite augmente de volume dans la proportion de 2 à 3, ce qui entraîne l'obstruction des galeries ou des tunnels percés au

travers de cette roche. C'est ce qu'on a observé dans quelques mines de sel gemme, ainsi que dans des tunnels de chemins de fer en Bohême et en Allemagne, dont quelques-uns ont dû être, pour ce fait, abandonnés.

Nous estimons que l'anhydrite est la matière la plus dangereuse que puisse rencontrer un tunnel ; et si celui du Mont Blanc se trouvait traverser cette roche, ce qui est assez vraisemblable, nous pouvons dire que ce SERAIT BIEN AUTRE CHOSE ENCORE QUE LA « MAUVAISE PARTIE » DU GOTHARD.

5° **Cornieule et calcaire dolomitique.** Le reste du parcours du tracé, jusqu'à la traversée du torrent de Dollone, soit 300 m. environ, se trouve composé de calcaires dolomitiques, tantôt compacts, tantôt plus ou moins cristallins, tantôt enfin vacuolaires. Cette dernière variété généralement connue sous le nom de *cornieule* (Cargneule, Rauhewacke, Zellendolomit) a été mentionnée par M. Baretta sous le nom de *calcaire tufacé*. Ces roches accompagnent presque toujours le gypse dans les Alpes et forment avec lui un ensemble plus ou moins solidaire, généralement attribué au système triasique.

Là où les gypses sont plus développés, les calcaires dolomitiques, de l'une ou l'autre variété, le sont moins et vice versa. Cela tient aux circonstances physiques du dépôt hydatogène et probablement aux conditions de profondeur des eaux, à l'époque de leur formation.

Dans le haut de la vallée, où le gypse prédomine, la cornieule joue le principal rôle parmi les couches dolomitiques. Dans le bas, sur la ligne même du tunnel projeté, il nous a paru que la masse gypseuse et la masse dolomitique étaient à peu près égales, mais que les variétés compactes et cristallines du calcaire dolomitique avaient la prédominance sur la cornieule. Cela a d'ailleurs peu d'importance au point de vue technique, car dans chacune de ces variétés on trouve des degrés de cohésion très divers, la dolomie cristalline pouvant se trouver fendillée ou passant fréquemment à l'état de sable plus ou moins incohérent, comme par exemple la dolomie saccharoïde du Binnenthal et du Gothard près d'Airolo.

Il arrive très souvent aussi que des bancs de gypse alternent avec ces roches dolomitiques ; c'est ce que nous avons observé dans le bas du complexe, un peu au-dessus de Dollone, dans la berge même du torrent, où nous avons retrouvé des affleurements gypseux subordonnés aux cornieules.

En somme il existe là, dès la base des calcaires massifs N° 3 jusqu'aux schistes lustrés N° 6, un complexe de roches gypseuses et dolomitiques *que le tunnel traverserait sur 650 m. environ, et qui nous paraissent très défavorables aux travaux. Ces roches sont très sujettes aux infiltrations et le tunnel les couperait précisément dans le bas de la vallée, près du thalweg, et dans une région riche en sources.*

Ces roches que M. Baretta a plus ou moins négligées ou mal interprétées, sont pourtant mentionnées dans toutes les cartes géologiques antérieures. (Studer et Escher, Alph. Favre, Gerlach, Lory et Pillet.)

6° **Les schistes lustrés** commencent superficiellement au torrent de la Victoire ou de Dollone, appelé aussi torrent de l'Eau forte. C'est en ce point qu'il serait question de foncer un puits de 140 m. de profondeur. Ce puits serait entièrement contenu dans ces schistes, car, vu l'inclinaison des couches au S.-E., le tunnel les aurait déjà rencontrés de 150 à 200 m. plus en aval.

Ce sont des schistes argileux, grisâtres ou verdâtres, très feuilletés et fort peu cohérents. Leur nom provient de ce que la surface des feuillets est en général plus ou moins luisante.

Vers le haut se trouve une intercalation de cornieule à laquelle M. Baretta attribue 15 m. A la limite inférieure de ces schistes, près de leur contact avec le gneiss du Mont Chétif, (N° 7,) il indique également des bancs de *calcaire cristallin schisteux*, auxquels il attribue 40 m. de longueur dans le tunnel. Mais ces bancs calcaires ne doivent pas être bien continus, car nous n'avons pu les retrouver au pied du Mont Chétif, sur Dollone.

L'ensemble de ce complexe schisteux, attribué aussi par beaucoup de géologues au terrain triasique, entrerait, selon M. Baretta, pour 800 m. dans la longueur totale du tunnel. Il nous a paru, après une étude attentive, que M. Baretta avait considérablement exagéré l'importance de ces schistes.

Pour nous, y compris les bancs subordonnés de cornieule et de calcaire cristallin, nous ne pensons

pas que ce complexe schisteux occupe plus de 450 à 500 m. de longueur dans le tunnel. *Ce sera une roche d'une perforation très facile, mais très éboulante et favorable aux infiltrations ; elle nécessitera donc des revêtements très solides.*

7° **Gneiss du Mont Chétif.** Après une intercalation de calschistes grenus, moins épaisse nous paraît-il que ne l'indique M. Baretti, nous trouvons comme lui un schiste cristallin bien caractérisé, d'une bonne cohésion et d'une assez grande dureté, qui est souvent exploité dans le pays pour la fabrication de dalles très résistantes.

Cette roche est composée d'un magma finement grenu de feldspath et de quartz, en grains entrelacés de feuillets indistincts d'un mica brun verdâtre (peut-être talqueux). Elle est généralement mentionnée sous le nom de gneiss. (Lory, Gerlach.)

Au-dessus de Dollone nous ne lui avons trouvé que 40° d'inclinaison, toujours au S.-E., comme toutes les couches précédentes, avec lesquelles elle paraît être en parfaite concordance de stratification.

Le tunnel devrait atteindre le gneiss au droit du village de Dollone, plutôt vers son extrémité sud et s'y maintenir jusqu'après Entrelevie, un peu au sud de l'alignement des bains de la Saxe. Cela lui donnerait un parcours de 1300 à 1400 m., au lieu des 1175 m. seulement indiqués par M. Baretti.

8° **Complexe schisto-calcaire**, parcouru par le tunnel sur une longueur d'environ 3700 m. et se subdivisant en trois groupes principaux, 8 a 8 b et 8 c.

8° a. **Schistes foncés.** Au delà du gneiss apparaissent de nouveau des schistes argileux ou argilo-calcaires très feuilletés, en général un peu plus foncés et moins lustrés que les précédents (N° 6), mais ayant pourtant avec eux une grande analogie. La superposition nous a paru parfaitement normale et concordante, soit sur le flanc nord du Mont Chétif, soit sur celui du Mont de Saxe. Droit au-dessus des bains de la Saxe nous avons trouvé la surface de contact plongeant de 45° à 55° au S.-E. Vis-à-vis, sur le versant nord du Mont Chétif, l'inclinaison des schistes nous a paru un peu plus forte.

Ces schistes ont une grande épaisseur. C'est dans leur milieu que se trouverait le troisième puits, de 180 m. de profondeur, qu'il serait question de foncer près du confluent des deux Doires.

Nous avons trouvé dans ces schistes quelques vestiges en forme de cylindroïdes allongés qui nous paraissent appartenir à des *belemnites écrasées*. Suivant cet indice nous inclinons à considérer ces schistes comme du *lias supérieur*, celui-ci étant généralement schisteux dans les Alpes et les *belemnites* y étant souvent les fossiles les plus abondants. Ils sont d'ailleurs très semblables aux schistes gris des Grisons, qui contiennent aussi ces mêmes traces de *belemnites*. Comme dans les schistes de la Via Mala, on y trouve également ici de minces intercalations de quartz blanc.

Au delà du confluent, les schistes foncés présentent quelques ondulations et une tendance à se rapprocher de plus en plus de la verticale. Il nous paraît que le tunnel traverserait ces assises schisteuses sur une étendue de 1150 m. environ. Dans sa coupe, M. Baretti leur attribue une longueur beaucoup moindre et les désigne comme schistes alumineux et micacés. Dans son texte, il les nomme tantôt calcaire schisteux, tantôt calcaire alumineux, tendant à les confondre avec les roches calcaires N° 8 b. Il y a là une inexactitude évidente provenant sans doute encore des prédispositions favorables de M. Baretti.

Comme beaucoup de schistes argileux, ceux-ci sont un peu calcaires et contiennent, disséminées, quelques paillettes de mica ; mais aucun géologue ne pourra les nommer ni des *calcaires schisteux*, ni des *micaschistes* ; on les appellerait plutôt *schistes pourris*, à cause de leur peu de consistance.

8° b. **Calcaires schistoïdes.** Ce n'est que sur l'alignement d'Entrèves qu'apparaissent enfin de véritables calcaires, tantôt plus ou moins compacts, en bancs minces, tantôt beaucoup plus schistoïdes, avec de fréquentes intercalations de schistes argilo-calcaires, en particulier vers leur milieu. Leur inclinaison va constamment en augmentant de 60° à 85°, au S.-E.

On peut y reconnaître, d'une manière générale, deux paquets principaux séparés par une épaisseur

d'environ 150 m. de schistes marno-calcaires, moins feuilletés que ceux du N° 8 *a*. Le premier paquet calcaire se trouve vis-à-vis d'Entrèves; il a environ 300 m. d'épaisseur et présente un plongement moyen de 60°. L'autre, d'environ 200 m., commence à Notre-Dame de la Guérison et présente, suivant les places, un plongement de 65° jusqu'à 80°. Ces derniers bancs calcaires se retrouvent de l'autre côté de la vallée de Vénì, un peu au-dessus d'Entrèves, où les dernières couches sont presque verticales.

Ce calcaire ressemble en somme au calcaire des hautes Alpes (*Hochgebirgskalk*). Il a absolument le même aspect que les bancs calcaires presque verticaux qui supportent la tour de la Bâtiaz près Martigny ou que ceux du Tœdi.

Il y a tout lieu de penser que ces calcaires appartiennent au terrain jurassique (supérieur) et c'est ainsi qu'ils figurent dans presque toutes les cartes géologiques.

Si nos appréciations sont exactes, ces assises N° 8 *b* occuperaient dans le tracé du tunnel une longueur totale d'environ 650 m.

8° *c*. **Schistes foncés.** Les calcaires précédents passent insensiblement à un nouveau paquet de schistes argileux ou argilo-calcaires foncés, très feuilletés, tout semblables au N° 8 *a*, et dont l'inclinaison se rapproche de plus en plus de la verticale, puis la dépasse. Au delà ces schistes prennent un plongement inverse, de plus en plus accusé. Déjà en dessous des chalets du Prou, ils plongent nettement au N.-O. Plus loin, au fond du cirque, ce plongement est d'environ 80° à 75°.

Comme les schistes du N° 8 *a*, ceux-ci présentent de fréquentes bandes ou lentilles de quartz blanc interstratifié, ordinairement de quelques centimètres ou décimètres d'épaisseur, mais qui ont parfois jusqu'à 1 m. et plus.

On y trouve aussi, de temps en temps intercalés, quelques minces bancs calcaires ou dolomitiques. Nous en avons compté trois, avec une épaisseur totale de 100 à 150 m., tout au plus.

M. Baretta a énormément exagéré, dans son profil, l'importance de ces bancs calcaires, au détriment des schistes. Il aura été induit en erreur par l'aspect des couches du mont Fréty qui, vues de loin, présentent des bandes alternatives plus claires et plus foncées. D'après sa coupe nous nous attendions à trouver les bandes claires composées de calcaire, et les foncées de schistes; mais nous avons été dé trompés en traversant toute la série de couches aux environs de Prou, presque sur le tracé du tunnel. Là nous n'avons trouvé, jusqu'au gneiss, que des schistes plus ou moins marneux, toujours très feuilletés, et même un peu lustrés, avec de rares bancs calcaires minces et un petit banc de dolomie saccharoïde.

Ce complexe schisteux, N° 8 *c*, devra, nous paraît-il, occuper dans le tunnel une longueur plus grande encore que le N° 8 *a*, d'environ 1300 mètres. L'ensemble du N° 8, sur une longueur totale de 3700 mètres environ, ne nous a ainsi présenté que 650 mètres de calcaire au plus, c'est-à-dire beaucoup moins que n'indique M. Baretta.

9° **Gneiss.** Adossée contre ces schistes se présente une roche cristalline siliceuse, en général assez compacte, parfois plus ou moins schisteuse ou porphyroïde, qui n'est point encore la protogine et que plusieurs auteurs ont nommée *gneiss*. C'est évidemment une roche d'origine *clastique*, soit *deutérogène*, comme le témoignent les nombreuses parties bréchiformes et poudinguiformes que nous avons rencontrées dans le cirque du Prou. Toutefois, au point de vue industriel, cette roche métamorphique peut être parfaitement assimilée au gneiss massif, car elle est constituée des mêmes éléments principaux et en a tous les caractères de dureté et de ténacité. M. Baretta n'attribue à ce gneiss que 275 mètres de longueur dans le tunnel, mais il nous paraît qu'il devra en avoir davantage. Toutefois nous ne pouvons pas préciser, car, conformément à nos instructions, nous n'avons pas poussé nos recherches plus loin dans cette direction.

Les couches de cette roche cristalline nous ont paru succéder aux schistes foncés en concordance de stratification. Dans la partie ouest du cirque de Prou, en arrière et au nord des chalets de Brenva, nous avons trouvé la surface de contact formant une courbe très prononcée, convexe du côté du Mont Blanc.

Dans le bas le plongement est de 75° au nord-ouest, tandis qu'à la partie supérieure le gneiss recouvre les schistes avec 30° d'inclinaison seulement. Sur ce point il paraît y avoir une petite discordance locale.

10° **Protogine.** Nous ne l'indiquons que pour mémoire, notre exploration n'ayant pas été poussée si loin. Autant que nous pouvions en juger à distance, il nous a paru que la protogine devait commencer un peu en dessous de l'extrémité inférieure des glaciers d'Entrèves, de Toule, etc., et du rétrécissement de celui de la Brenva. Il n'y a du reste rien à dire sur cette roche dure et compacte, qui est bien connue.

Il nous reste un mot à ajouter au sujet du rôle géologique de la zone schisto-calcaire, N° 8, qui borde au sud-est le massif cristallin du Mont Blanc.

Cette zone schisto-calcaire, probablement d'âge jurassique, recouverte de chaque côté par le gneiss, ou roche analogue, a été considérée par MM. Studer, A. Favre, etc., comme constituant un pli synclinal un peu refermé par en haut. C'est ainsi que la coupe de M. Baretta la présente également. M. le professeur Lory, qui avait adopté précédemment cette même manière de voir, en a changé dès lors. Dans la lettre qu'il nous a écrite, aussi bien que dans celle qu'il a adressée à M. le président du conseil d'administration de la Compagnie du Simplon¹, il envisage ces terrains comme formant une anticlinale ou voûte rompue, buttant de droite et de gauche contre le gneiss qui les recouvrirait de chaque côté par une *faille en surplomb*.

Cette question, très importante au point de vue géologique pur ou théorique, ne nous paraît pas avoir beaucoup de portée technique, attendu que le tunnel serait assez près de la surface pour couper en tout cas les couches comme on les voit à l'extérieur.

La question toutefois nous intéressait vivement et nous l'avons examinée sur place avec beaucoup d'attention. La disposition synclinale nous paraît, après examen, à l'un et à l'autre, infiniment plus probable que la nouvelle hypothèse de M. Lory.

B. CONDITIONS HYDRAULIQUES

Les conditions hydrauliques du grand tunnel seront semblables à celles du tunnel du Gothard, dans la partie de celui-ci qui traverse le massif principal de la montagne, et semblables aussi en grande partie aux conditions hydrauliques du tunnel du Simplon.

Il en sera tout autrement de la « galerie d'accès sous vallée » où les conditions hydrauliques seront beaucoup plus défavorables. Ici en effet les circonstances sont des plus fâcheuses et inquiétantes.

1° Le tunnel se trouve là sous la vallée. A partir de l'entrée sud, l'enfoncement du tunnel en dessous de la rivière principale croît graduellement jusqu'à la faible profondeur de 230 mètres environ près d'Entrèves.

D'après l'un des tracés, la distance horizontale entre le fleuve et la direction du tracé ne dépasse pas 300 mètres ; le tunnel coupe deux fois la Doire et s'en rapproche plusieurs fois jusqu'à la tangente. D'après le tracé figuré et suivi dans le rapport géologique de M. Baretta, tracé auquel nous nous sommes principalement tenus, le tunnel commence à une distance horizontale du fleuve d'à peine 150 mètres et s'en écarte au maximum de 700 mètres. L'écartement moyen est en somme de 300 mètres environ, et près d'Entrèves le tunnel traverse en dessous de la branche occidentale de la Doire.

Nous n'avons naturellement pas à nous occuper des autres variantes qui, se tenant à une altitude de 1200 à 1300 mètres au-dessus de la mer, évitent la section extrême du tunnel, de Champey à Dollone ou même à Entrèves.

En outre la « galerie sous vallée » passe sous une série de torrents qui se jettent dans la Doire. Tout le fond de la vallée est rempli de déjections torrentielles et de dépôts glaciaires.

¹ Lettre reproduite ci-après.

Depuis le niveau du fleuve jusqu'au sommet des terrasses sur lesquelles reposent Courmayeur, Vermand et Dollone, le sol est entièrement composé de pareils matériaux meubles.

Le premier tracé quitterait probablement plusieurs fois le roc en place, pour traverser ces accumulations erratiques.

Le projet auquel s'est tenu M. Baretta resterait au contraire, selon toute probabilité, continuellement dans le roc en place, dès le moment où il l'aurait atteint un peu au delà de Champéry.

Ces accumulations erratiques, avec les torrents et ruisseaux qui les parcourent, forment une sorte de grand appareil d'infiltration (une grande éponge) qui imbibe les roches sous-jacentes.

Avec la faible profondeur du tracé en dessous du sol et avec le plongement considérable des couches, on peut s'attendre à ce que le tunnel soit mis en communication avec ce grand appareil d'infiltration, soit par de nombreuses fissures, soit par la perméabilité des couches elles-mêmes. *De cette manière un volume d'eau très important pénétrerait dans la « galerie sous vallée, » compliquerait beaucoup les travaux et augmenterait considérablement le danger, toujours à redouter, de l'éboulement de terrains imbibés d'eau.*

Les circonstances sont ici bien plus défavorables que dans le tunnel du Gothard, par exemple de Göschenen jusque sous Andermatt, où la distance verticale entre le tunnel et le thalweg est d'au moins 300 mètres, et où les roches sont, à peu d'exceptions près, remarquablement solides, compactes et imperméables.

Dans le tunnel du Mont Blanc ces difficultés hydrauliques sont à prévoir avec certitude sur une longueur d'environ six kilomètres et demi.

2° La vallée de Courmayeur est riche en sources minérales importantes, largement utilisées, soit pour des cures sur place, soit pour l'exportation. Ce sont des *sources sulfureuses* et des *sources acidules ferrugineuses* d'une grande valeur. Courmayeur est une *ville d'eaux*, abondamment visitée en été, et dont les grands hôtels, au nombre de quatre ou cinq, regorgent d'étrangers dans la bonne saison.

La plupart de ces sources minérales proviennent des roches que nous avons décrites sous les Nos 4 et 5. Ces gypses et cornieules triasiques fournissent de semblables sources minérales sur toute la longueur des Alpes centrales (Allevard, Saxon, Loèche, Saint-Moritz, Bernardino, Vals, Somvix, etc., etc.)

Dans le voisinage de Dollone jaillit, au bord du torrent, la célèbre *source acidule de la Victoire*, à moins de 100 m. verticalement au-dessus du tunnel projeté. Un peu plus bas se trouve la *source de Sainte-Marguerite*. A une faible distance au-dessus de la source de la Victoire se trouve une source incrustante calcaire, non utilisée, qui, malgré la sécheresse du commencement d'août, débitait lors de notre passage de 400 à 600 litres environ par minute. Un peu plus haut nous avons rencontré deux sources gypseuses d'environ 30 litres chacune, dont la supérieure sortait directement d'une fissure du roc de gypse.

D'après toutes les expériences faites dans les tunnels et galeries de mines, *il est infiniment probable que toutes ces sources tariraient et que leurs eaux s'écouleraient dans le tunnel.* En effet les couches aquifères, bien loin d'être séparées du tunnel par quelque couche imperméable, ont un plongement tel qu'elles seront toutes coupées par le tunnel.

Bien plus, cet accident se produira précisément sur un parcours où les roches, à cause de leur peu de consistance, provoqueront déjà par elles-mêmes, lors du percement, de très grandes difficultés.

Les circonstances sont absolument les mêmes pour la forte source sulfureuse des bains de la Saxe.

3° Il faut encore mentionner le fait très probable que le tunnel coupera et tarira bon nombre d'autres sources qui alimentent les fontaines des divers villages, ainsi que quelques sources ordinaires qui s'écoulent dans les cours d'eau, comme celles que nous avons vues entre le torrent de l'Arp et Planey, ainsi que près d'Entrelevie.

Cette vallée riche en sources serait ainsi privée d'eau, et il faudrait des travaux importants pour aller

chercher dans les vallées latérales les eaux nécessaires à son alimentation. *En revanche le tunnel serait encombré de toutes ces eaux qui y formeraient presque une rivière.* Si nos prévisions ci-dessus sont fondées, et nous ne comprendrions pas qu'il en pût être autrement, *les dommages pour la vallée toute entière, et comme conséquence, les frais pour l'entreprise du tunnel sont incalculables; cela saute aux yeux.*

4^o Enfin nous devons signaler *les inconvénients que présenteront les eaux pour les puits projetés, même dans les plus favorables prévisions.* Les avantages que présenterait la possibilité de poursuivre les travaux de percement par plusieurs points d'attaque, dès le fond de ces puits, seraient selon toute probabilité rendus illusoires par les frais et les dangers qui résulteraient de ces *venues* subites d'eau. Ces dangers et ces frais s'accroîtraient naturellement, dans une progression rapide, à mesure que s'allongeraient les sections de percement entreprises depuis le fond des puits.

C. TEMPÉRATURE INTERNE

Depuis les recherches géothermiques de M. le Dr Stapf, dans le tunnel du Gothard, et les discussions auxquelles elles ont donné naissance, la question de la température interne probable ne peut plus être passée sous silence, dans l'examen d'un projet de tunnel alpin.

Nous savons qu'une haute température ambiante, surtout dans l'air humide, amoindrit beaucoup la capacité de travail des hommes et augmente considérablement les frais. Avec une température de 45° centigrades dans l'air humide, de 55° centigrades dans l'air sec, le travail de percement d'un tunnel devient impossible.

D'autre part on connaît d'une manière générale les lois de répartition de la température dans les masses montagneuses, mais pas assez bien toutefois pour pouvoir déterminer d'avance exactement les chiffres de température qui pourront être rencontrés.

Il est incontestable que les conditions thermiques du tunnel du Simplon, *suivant les tracés que nous avons eu à étudier précédemment* ¹, sont bien plus défavorables que celles du Gothard; toutefois elles n'atteignent point encore les limites de possibilité de semblables travaux.

Si nous comparons à ce point de vue les projets de tunnels du Simplon et du Mont Blanc, nous arriverons aux résultats suivants :

1^o Dans la « galerie sous vallée » on ne rencontrera certainement pas des températures qui puissent gêner sensiblement les travaux. Vu les montagnes dont cette vallée est entourée, la température interne doit croître assez rapidement, probablement de 1° centigrade pour chaque 20 ou 22 mètres d'enfoncement, comme cela a lieu au Gothard sous la vallée d'Urseren. Nous arriverions ainsi pour la « galerie sous vallée » au chiffre de 15° à 18° centigrades.

2^o Dans la section d'Entrèves à Tacconnaz, la masse médiane du Mont Blanc s'élève beaucoup plus haut au-dessus du tunnel (3200 m. au maximum, 2450 m. en moyenne sur 6 kilomètres) que cela n'a lieu au Simplon avec le tracé le plus défavorable (2500 m. au maximum, 2035 m. en moyenne sur 6 kilomètres également), et à plus forte raison que cela n'a lieu au Gothard.

3^o Les projets du Simplon les plus défavorables au point de vue thermique, sont ceux qui passent le plus près du Monte Leone et débouchent sur Balmare. Mais ce haut massif du Monte Leone est heureusement entouré de tous côtés de profondes vallées qui doivent agir sur la température interne de ce massif et l'abaisser sensiblement. C'est au N.-O., la vallée de la Ganther et celle de la Saltine; au S.-O. et au S., le passage du Simplon et le val di Vedro (Diveria); au N.-E., la vallée de la Cherasca et le cirque de l'alpe Diveglia.

¹ Projet de 1877 et 1878.

Au contraire, à droite et à gauche du projet de tunnel du Mont Blanc, le relief est encore plus saillant qu'il ne l'est sur l'axe même du tunnel, ce qui doit tendre à accroître encore la température interne du massif. En estimant par comparaison la température interne des tunnels du Simplon et du Mont Blanc d'après les considérations qui précèdent, nous trouvons que le tunnel du Simplon présenterait une température élevée sur une plus grande longueur que celui du Mont Blanc; mais qu'en revanche la température interne de ce dernier dépasserait, dans sa partie médiane, celle qui a été trouvée au Gothard, et celle qu'on devrait trouver au Simplon, *et atteindrait une élévation telle qu'on peut douter de la possibilité de son exécution*. En estimant cette température d'après les chiffres les plus favorables que fournisse l'expérience acquise au Gothard, nous trouvons qu'il faut s'attendre à rencontrer dans le tunnel du Mont Blanc, entre Taconnaz et Entrèves, sur une longueur de 9 kilomètres, une température dépassant 30°; dans la portion médiane de ces derniers, sur 5 kilomètres, une chaleur dépassant 40°; et qu'enfin dans la section tout à fait centrale on atteindrait bien au delà de 50° de température.

D. RAMPE MÉRIDIONALE D'ACCÈS

Nous devons ajouter encore un mot sur le tracé de la rampe méridionale d'accès, d'Aoste à Champey, distance que nous avons parcourue rapidement, carte en mains.

L'absence d'un projet bien précis, tracé sur une bonne carte, nous empêche d'en parler en détail.

Nous ne pourrions donc communiquer qu'une impression générale.

Dans la première partie, d'Aoste à Villeneuve et Liverogne, non plus que dans la dernière, de Morgex à Champey, les difficultés ne nous paraissent pas devoir être bien considérables, sauf là où l'on devra s'élever sur les flancs de la vallée et circuler sur l'erratique.

En revanche la partie centrale, de Liverogne à Morgex, *nous paraît devoir présenter de très grandes difficultés, égales ou même supérieures à celles des parties les plus épineuses des rampes d'accès du Gothard*.

La rampe d'accès méridionale du Simplon, de Domo d'Ossola à Iselle, présente à notre avis des conditions géologiques et orographiques infiniment plus favorables, ainsi que l'un de nous a pu l'observer encore récemment. La roche en place y est beaucoup plus solide et massive, les éboulis beaucoup moins abondants, et la vallée n'y présente pas, comme dans le haut de la vallée d'Aoste, de ces gorges étroites et de ces défilés où l'on ne peut pas se représenter un chemin de fer autrement que formant une série de tunnels successifs, comme à la Riviera de Ligurie.

Le projet marqué sur la carte sarde au 1/50 000, que nous avons consulté, n'est pas un travail sérieux et exact sur lequel on puisse fonder des calculs de frais, mais un tracé tout à fait approximatif et provisoire.

Nous avons répondu de notre mieux dans les pages qui précèdent aux questions posées, et nous espérons que ce travail pourra avoir quelque utilité.

Lausanne, le 29 novembre 1881.

E. RENEVIER, professeur.

Zurich, le 7 décembre 1881.

ALBERT HEIM, professeur.

ANNEXE II.

Lettre de M. Ch. Lory, professeur, à Grenoble,

A M. CERESOLE

PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU SIMPLON

Grenoble, le 12 août 1881.

Monsieur le président,

J'ai l'honneur de vous accuser réception de votre lettre, en date du 10 courant, à laquelle je m'empresse de répondre.

J'ai reçu, en effet, une lettre de M. le professeur Renevier en date du 7, et, comme il le prévoyait lui-même, j'ai été forcé de lui répondre, à mon grand regret, que j'étais absorbé par la préparation du congrès de la société géologique de France, qui doit se tenir bientôt à Grenoble, et que j'étais dans l'impossibilité de me rendre à Courmayeur pour prendre part, avec lui et M. le professeur Heim, aux études que vous demandiez immédiatement. Heureusement je connais, depuis longtemps, la vallée de Courmayeur, et j'ai pu, dans cette lettre à M. Renevier, lui dire quel était mon sentiment à l'égard du tracé dit *galerie sous vallée*, en continuation du projet de tunnel sous le Mont Blanc.

Je ne connais pas encore le nouveau travail de M. Baretta, et je vais faire en sorte de me le procurer ; je ne connais que sa notice de janvier 1880 jointe à la brochure de M. Bérard et concernant le projet Chabloz. Mais quelles que soient les modifications qui aient pu être apportées, soit à ce projet de tracé, soit aux appréciations géologiques de M. Baretta, je suis sûr des données que j'ai figurées dans un profil géologique de cette vallée de Courmayeur, en 1866 (*Bulletin de la Société géologique de France*, tom. 23, pl. X) dont vous recevrez, avec cette lettre, un exemplaire, et j'en tire, dans la lettre que je viens d'adresser à M. Renevier, des conclusions qui peuvent se résumer ainsi :

1^o Le tracé dit *galerie sous vallée* ne me paraît possible, dans la partie comprise entre Pré Saint-Didier et l'Allée-Blanche, qu'en s'écartant du thalweg et pénétrant profondément sous les roches en place du massif du Crammont et du Mont Chétif, pour éviter les dangers de traverser des roches peu consistantes et surtout une grande assise gypseuse, à une faible distance de la surface, où elles sont désagrégées par les infiltrations des eaux. Il en serait de même pour un tracé sous l'autre flanc de la vallée (rive gauche) dont la constitution géologique est absolument la même.

2^o Le passage sous le val d'Entrèves, entre le Mont Chétif, rive droite, ou la Saxe, rive gauche, et le massif du Mont Blanc présenterait, à mon sens, les chances de difficultés les plus sérieuses de tout le tracé, quelques modifications qu'on y propose. En effet, ce passage devrait avoir lieu, sur un trajet d'environ trois kilomètres, dans un paquet de schistes argilo-calcaires fortement inclinés, qui ne sont point régulièrement superposés aux roches cristallines (gneiss, etc.) du Mont Blanc, au N.-O., ni du Mont Chétif ou de la Saxe, au S.-E., mais au contraire détachées des unes et des autres par des *failles en surplomb*. Dans mon profil de 1866, j'ai figuré ces schistes (L) comme se raccordant dans la profondeur par un pli synclinal ; c'était l'idée théorique admise par MM. Studer et Alph. Favre ; mais deux ans après, suivant de nouvelles études que j'avais faites en 1867, je considérais, et je considère encore, ce pli comme une hypothèse peu probable, et je représentais les couches de part et d'autre, contre le Mont Chétif et contre le Mont Blanc, comme formant un pli anticlinal rompu ; c'est du reste ce que M. Baretta a figuré aussi dans son profil de 1880, mais sans parler des failles par lesquelles ce paquet de schistes argilo-calcaires est séparé des massifs consistants qui l'encaissent.

Ces schistes seraient, sur une traversée de 3 km. environ (3 km. 8 suivant le profil Baretti 1880, projet Chabloz) dans les mêmes conditions géologiques que ceux du val d'Andermatt, dont l'épaisseur est bien moindre ; et vu les conditions physiques locales, les masses d'eau provenant des glaciers de l'Allée-Blanche, les infiltrations possibles à la profondeur où passerait la galerie, on peut être raisonnablement conduit à supposer qu'on aurait à lutter contre des difficultés au moins égales à celles qu'a éprouvées le souterrain du Gothard à son passage sous Andermatt. Ce ne serait qu'une induction, mais assez sérieuse pour qu'on ne pût pas se dispenser de la mettre en ligne de compte. La disposition *en surplomb* des roches cristallines du Mont Blanc et de celles du Mont Chétif (ou de la Saxe), par rapport aux schistes argilo-calcaires du *lias*, tend évidemment à augmenter la probabilité de ces accidents.

Telles sont, monsieur le président, les conclusions que je crois pouvoir déduire de mes études géologiques dans la vallée de Courmayeur : elles sont de nature à confirmer l'opinion émise par M. Colladon, concernant les difficultés probables d'une voie en galerie sous l'un ou l'autre des flancs de cette vallée, et surtout dans le passage sous le val d'Entrèves. Toutefois, quant au degré plus ou moins grave de ces difficultés, les études géologiques à la surface ne peuvent le faire apprécier d'une manière certaine ; au tunnel de Fréjus, la traversée des assises gypseuses, en couches verticales, et celle d'une grande faille, à plus de 1000 m., il est vrai, en dessous de la surface, n'ont donné lieu à aucun des accidents que l'on avait été porté à redouter ; au Saint-Gothard, le passage sous Andermatt a amené des complications dont on était loin de prévoir la portée.

Quant à la modification du tracé du grand tunnel du Simplon dont vous me faites l'honneur de me parler, elle serait très rapprochée du *tracé bleu* de M. Lommel, un de ceux sur lesquels ont porté, en 1878, les relevés géologiques faits par MM. Renevier, Heim et moi, et que nous nous étions même accordés à recommander comme *préférable* au point de vue des roches à traverser. Le déplacement de l'issue sud de ce tunnel, transportée en aval d'Iselle, ne modifierait que très légèrement les appréciations que nous avons formulées alors pour le dit *tracé bleu*, et ne changerait pas sensiblement les prévisions relatives au coût kilométrique des roches à traverser entre la verticale de Bérisal et le débouché sur la Diveria. Devant nous rendre, M. Renevier et moi, à la fin de septembre, au congrès géologique de Bologne, nous pourrions peut-être facilement nous entendre pour faire, à l'aller ou au retour, à la convenance de M. Heim, le supplément d'études que vous nous faites l'honneur de nous demander.

Veillez agréer, monsieur le président, l'assurance de mes sentiments les plus dévoués.

CH. LORY.

CHAPITRE IV

CONDITIONS D'EXÉCUTION DU GRAND TUNNEL

a) Forces motrices disponibles

Pour se rendre compte des forces motrices disponibles, soit pour la perforation mécanique, soit pour la ventilation du grand tunnel, il a été fait des jaugeages de tous les cours d'eau qui peuvent être utilisés.

Des jaugeages avaient déjà été faits par la compagnie du Simplon pendant l'hiver de 1876-1877. Comme cet hiver avait été très doux et ne permettait pas de se rendre compte du minimum de débit qui correspond aux très grands froids, ils ont été continués pendant l'hiver plus froid de 1877-1878 ¹.

Nous ne ferons qu'en rappeler sommairement les résultats :

Sur le *versant sud*, des barrages avaient été établis dans la Diveria, l'un à Gondo, près du poste frontière suisse, à l'altitude de 828 m., et l'autre à Paglino, à l'altitude de 768 m., à 1 km. plus bas, le premier situé à 4600 m. en amont de la tête adoptée par nous pour le grand tunnel et le second à 3600 m.; on avait fait aussi un barrage dans la Cherasca, à 4 km. en aval de notre tête de tunnel.

Les débits, indiqués en litres par seconde, avaient varié entre les limites suivantes :

Barrage de Gondo :

Minimum, 1617 litres, les 23 et 25 décembre 1876.

Maximum (observé), 3756 litres, le 2 mars 1877.

Barrage de Paglino :

¹ Les relevés complets de ces jaugeages sont publiés dans le *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes* de mars 1878, page 9.

Minimum, 1320 litres, le 24 janvier 1878.

1531 » les 23 et 25 décembre 1876.

Maximum (observé), 3570 litres, le 2 mars 1877.

Barrage de la Cherasca :

Minimum, 1245 litres, le 4 février 1877.

Maximum, 2880 litres, le 5 avril 1877.

Ces chiffres ne sont pas absolus ; ce sont ceux de la saison d'hiver, aucune observation n'ayant été faite pendant les crues ; et encore les carnets de jaugeage mentionnent-ils que, dans ce cas, l'eau débordait du chenal d'observation. Dans les hautes eaux d'été, d'après nos renseignements, la Diveria donne 6000 à 7000 litres et la Cherasca 5000 à 6000 litres.

En automne 1881, nous avons établi de nouveaux barrages et continué les opérations du jaugeage pendant tout cet hiver de 1881 à 1882 qui a été, dans cette contrée surtout, exceptionnellement sec, l'un des plus secs du siècle et pendant lequel il n'est presque tombé ni neige ni pluie.

Outre les deux barrages de Gondo et de Paglino, nous en avons installé un dans la Cherasca sous le pont de la route et à 3 km. en aval de notre tête de tunnel. Chaque barrage se composait d'un chenal en madriers de 3 m. de large, 0^m60 de haut et 10 m. de long, précédé à l'amont d'un radier de direction planchéié pour y conduire l'eau. On y observait les hauteurs de l'eau et les vitesses au moyen de flotteurs. Malgré tout le soin mis à construire et à poser ces chenaux, une certaine quantité d'eau a filtré à travers les joints ou passé en dessous ou à côté, de sorte que le débit réel doit être légèrement plus fort que le débit constaté. Ces pertes étaient surtout fortes au barrage de Paglino où nous les avons évaluées à 25 % du débit total.

Le débit minimum de la Diveria a été observé le 13 février 1882 à 1115 litres à la seconde à Gondo, et le même jour à 1076 litres à Paglino. Pour les raisons indiquées, c'est le premier chiffre qu'il faut admettre.

Celui de la Cherasca a été observé le même jour à 1245 litres.

Ce qui explique l'anomalie apparente avec les jaugeages de 1876 et 1877 qui accusaient un débit plus faible pour la Cherasca que pour la Diveria, tandis qu'en 1882 il est au contraire plus fort, c'est que, pendant l'hiver 1881-1882, il était tombé un peu plus de neige dans le bassin de la Cherasca que dans celui de la Diveria.

Les tableaux des jaugeages exécutés font ressortir que, pour la Diveria, les basses eaux moyennes donnent un débit de 1650 litres, les hautes eaux moyennes de 4000 lit. et, pour la Cherasca, les basses eaux moyennes 1400 litres, hautes eaux moyennes 3000 litres. Ces débits, en admettant une dérivation complète, correspondraient aux forces motrices théoriques suivantes :

Diveria. Si l'on suppose la prise d'eau établie à Gondo, à la cote d'altitude 828 m. environ, la tête du tunnel projeté étant à 628 m. environ, soit une chute de 200 m.,

1° Débit minimum de 1882 :

$$\frac{1115 \text{ litres} \times 200 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 2973 \text{ chevaux théoriques.}$$

2° Débit des basses eaux moyennes :

$$\frac{1650 \text{ litres} \times 200 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 4400 \text{ chevaux théoriques.}$$

3° Débit en hautes eaux moyennes :

$$\frac{4000 \text{ litres} \times 200 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 10\,666 \text{ chevaux théoriques.}$$

Il est observé qu'on pourrait capter la Diveria à n'importe quelle hauteur et augmenter la chute ; que celle-ci n'est limitée que par le maximum de la pression qu'on peut faire supporter à une conduite en charge, et par le maximum de la pression admissible pour le bon fonctionnement des turbines.

Si l'on adoptait le système de perforatrice à rotation et à eau comprimée de M. Brandt, dont nous parlerons plus loin, on pourrait employer des machines à colonne d'eau au lieu de turbines, et utiliser des pressions qui ne seraient plus limitées que par la capacité de résistance des tuyaux de conduite, soit entre 350 et 400 m. de chute.

En face de Gondo et immédiatement au-dessus de notre premier barrage, le torrent de Stalden ou le Zwischenbergenbach se précipite dans la Diveria ; il donne, dans les plus basses eaux, un débit de 200 litres au moins ; on pourrait le capter à n'importe quelle hauteur, toujours dans la même limite, et l'on aurait ainsi deux canalisations séparées, c'est-à-dire deux cordes à son arc, en cas d'avarie d'une conduite.

Cherasca. En supposant une dérivation complète et une chute de 200 m. aussi, les résultats seraient les suivants :

1° Débit minimum de février 1882 :

$$\frac{1245 \text{ litres} \times 200 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 3320 \text{ chevaux théoriques.}$$

2° Débit en basses eaux moyennes :

$$\frac{1400 \text{ litres} \times 200 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 3733 \text{ chevaux théoriques.}$$

3° Débit en hautes eaux moyennes :

$$\frac{3000 \text{ litres} \times 200 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 8000 \text{ chevaux théoriques.}$$

Ainsi, sur le versant sud, si même on admettait des eaux aussi basses que celles qui

ont duré pendant quelques jours en février 1882, on n'en disposerait pas moins d'une force de 6300 chevaux théoriques environ ou de plus de *4000 chevaux effectifs* amenée par trois et quatre conduites distinctes.

Cette force serait de 8400 chevaux théoriques ou de 6000 chevaux effectifs environ en basses eaux moyennes.

On sait qu'au tunnel du Gothard, du côté d'Airolo surtout, la force motrice est descendue à 400 chevaux. Ce serait donc d'une force au moins dix fois plus grande dont nous disposerions ici.

Sur le *versant nord* nous disposons, en première ligne, du Rhône.

Nous avons fait des jaugeages répétés sous le pont de Naters, près de Brigue, point dont nous possédions le profil en travers exact, et nos observations ont été faites avec le moulinet de Woltmann pour déterminer la vitesse moyenne.

Le débit minimum a été constaté le 3 février 1882 : il était de 14 440 litres à la seconde.

Dans la publication de 1878, on l'indiquait de 10 000 à 12 000 litres, mais sans donner aucun détail d'observation. Nous maintiendrons notre chiffre de 14 400 litres, les eaux de 1882 ayant été plus basses que celles de 1878 et nos observations ayant été précises et répétées.

Nous avons également jaugé la Massa, à l'entrée de la gorge et près de son embouchure dans le Rhône ; elle a donné le même jour un débit de 1096 litres à la seconde.

Nous n'avons pas jaugé le débit minimum de la Saltine, mais en 1878 on l'évaluait à 650 litres.

En ce qui concerne le Rhône, si l'on faisait un barrage à la Hochfluh, à la cote 720 m., soit à 31 m. au-dessus du tunnel, on aurait, avec une dérivation complète, une force disponible de $\frac{14\,400 \text{ lit.} \times 31 \text{ m.}}{75 \text{ kilogrammètres}} = 5952$ chevaux théoriques.

Si l'on faisait ce barrage à Mörel, avec un canal de 4500 m., on aurait une chute de 55 m., correspondant à une force de 10 560 chevaux, et l'on aurait encore à sa disposition la Massa et la Saltine, qu'on pourrait amener séparément avec de très fortes chutes.

On voit donc qu'en dérivant une partie seulement des eaux du Rhône et en prélevant largement ce qui est nécessaire pour actionner les machines perforatrices, on aurait encore suffisamment de forces pour mettre en action les ventilateurs les plus puissants qu'on puisse se représenter ; sous ce rapport, on se trouverait dans des conditions bien supérieures à ce qu'on avait au Gothard et à ce qu'on a à l'Arlberg.

Nous avons dit, au chapitre précédent, que si l'on se décidait à forer des puits de 700 m. à 800 m. de profondeur environ, aux points où le tunnel passe, sous les vallées de Diveglia ou de la Cherasca et de la Ganther (affluent de la Saltine), on trouverait, dans ces cours d'eau, des forces suffisantes pour forer mécaniquement ces puits et ac-

tionner des ventilateurs, sans que cela diminue les forces disponibles aux têtes du tunnel, l'eau étant rendue bien plus haut que les prises inférieures.

Ajoutons que, soit parmi les documents laissés par l'ancienne Compagnie, soit par les levés que nous avons fait faire et qui s'étendent très loin, on possède tous les éléments nécessaires pour faire l'étude de ces installations hydrauliques et mécaniques dans le détail desquelles nous pensons prématuré d'entrer, ceci faisant partie des mesures d'exécution.

b) Programme d'organisation des chantiers, perforation, ventilation, etc.

Nous avons supposé que le tunnel serait construit d'après le système qui donne actuellement de si bons résultats au tunnel de l'Arlberg, c'est-à-dire qu'on abandonnerait le système belge ou de la *galerie de faite* pour y substituer le système de la *galerie d'avancement à la base*. Cette galerie aurait 2^m75 de largeur et 2^m50 de hauteur, soit une section transversale de 6^m2875. Elle serait suivie, à 100 m. en arrière du front d'attaque, par une *galerie de faite* de 2^m30 de largeur sur 2 m. de hauteur ou 4^m260 de section transversale, qui se pratique au moyen de cheminées verticales boisées distantes de 50 m. environ, mettant en communication les deux galeries et servant de coulottes pour charger les déblais dans les wagons qui se trouvent dans la galerie inférieure, ainsi que pour remonter les matériaux de revêtement de la voûte. On peut, immédiatement après, procéder à l'élargissement de la calotte, c'est-à-dire à l'excavation complète, à l'enlèvement des strosses et à la construction des piédroits et de la voûte; de telle façon que le tunnel complètement achevé suit, de 150 à 180 jours ou de 500 à 600 m. près, l'avancement de la galerie et que toute l'activité des chantiers est concentrée sur 500 à 600 m. de chaque côté. A l'Arlberg cet espacement est prescrit par contrat et sous peine de retenue en cas de retard. Il a été observé sans aucune difficulté jusqu'ici, même dans les roches fortement délitées, humides et comprimantes qu'on a rencontrées du côté ouest.

Ce système de la galerie de base a été appliqué aussi, avec plein succès, dans la construction de la nouvelle galerie d'accès du grand tunnel du Mont Cenis (galerie d'une longueur de 1575 m. construite dans des conditions très difficiles, commencée en 1879 et maintenant terminée) ainsi qu'aux tunnels des lignes d'accès du Gothard et spécialement à celui du *Pfaffensprung*.

Dans un remarquable travail publié à ce sujet dans la *Revue générale des chemins de fer* du mois de juin 1881, page 445 et suivantes, M. Jules Michel, ingénieur en chef au chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, conclut nettement à ce que, *quelle que soit la nature du terrain dans lequel un tunnel est ouvert, la galerie d'avancement soit placée à la base ou au niveau de la plateforme*.

Il rappelle que c'est ainsi qu'on avait procédé au Mont Cenis et il appuie son opinion de celle de M. Gustave Bridel, ingénieur en chef de la Compagnie du Gothard, dont il reproduit une note très développée et concluant dans ce sens. Nous partageons complètement cette opinion, qui peut se résumer dans les termes suivants : La galerie de base présente plus de facilités pour l'écoulement des eaux, plus de facilités aussi pour le transport des déblais ; les voies de service pouvant être établies définitivement sans qu'on ait à les remanier, on peut multiplier à volonté les chantiers d'élargissement, tandis que la méthode belge ne comporte qu'une seule attaque frontale de battage au large et de strosse qui ne peut suivre la galerie d'avancement ; elle permet de suivre de très près, avec les maçonneries, c'est-à-dire avec le tunnel complètement achevé, le front d'attaque de l'avancement, et de restreindre sur un plus petit parcours l'activité des chantiers, qui pourront être mieux surveillés, mieux éclairés et mieux ventilés.

Il est pour nous hors de doute qu'à tous ces avantages, à la suppression de tous ces inconvénients doit nécessairement correspondre, soit une diminution de la durée des travaux, soit un abaissement notable du prix de revient.

Quant au mode de perforation, nous ne pouvons mieux faire que de résumer les méthodes employées à l'Arlberg ¹. Du côté *est* de ce tunnel, on a organisé la perforation au moyen des perforatrices à air comprimé et à percussion qui avaient donné jusqu'ici les meilleurs résultats au Gothard ; ce sont les perforatrices Ferroux et Seguin qui sont très connues et que nous nous dispenserons de décrire.

Depuis quelques années une perforatrice, basée sur un principe complètement différent, avait fait son apparition. Nous voulons parler de la perforatrice rotative et à eau comprimée de M. l'ingénieur Brandt.

L'outil perforateur est une tarrière annulaire, énergiquement pressée contre la roche et animée d'un mouvement de rotation ; il a la forme d'une fraise. C'est un cylindre creux à dents qui détruit la pierre sur l'épaisseur de cet anneau cylindrique et laisse un noyau ou chandelle qui s'enlève, entier ou brisé, suivant le plus ou moins de dureté de la roche.

La transmission de la force à l'outil ne se fait pas par de l'air comprimé mais par de l'eau comprimée à 100 atmosphères et transmise dans des tuyaux en fer étiré, de 70 millimètres de diamètre extérieur. L'installation est de la plus grande simplicité et beaucoup moins coûteuse que celle des machines à percussion Ferroux ou autres. On fore ainsi de cinq à neuf trous sur le front d'attaque, suivant la dureté de la roche ².

¹ Voir sur ce sujet la note publiée par le *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes*, en avril et juin 1882 la *Revue générale des Chemins de fer*, avril 1881, page 123 ; les *Annales des mines*, juin 1882 ; *Mémoires et comptes rendus de la Société des ingénieurs civils*, février 1882, page 171.

² Pour la description détaillée de cette machine, consulter 1° *Revue générale des chemins de fer* de novembre 1880 pag. 403 et planche XXXII ; 2° *Rapport trimestriel du Conseil fédéral suisse* sur les travaux du chemin de fer du Saint-Gothard, N° 31, volume VIII, planches XVI et XVII.

Cette perforatrice Brandt n'avait pas été employée au grand tunnel du Gothard, mais au tunnel hélicoïdal de *Pfaffensprung*, sur la rampe d'accès nord, et dans un granit excessivement dur et compact. Elle y donna d'excellents résultats au point de vue de l'économie du travail, mais ceux-ci ne furent pas concluants au point de vue de la rapidité de l'avancement, le délai d'exécution assigné à l'entreprise, qui ne comportait qu'un avancement journalier de 1^m80, ayant fait disparaître tout intérêt à accélérer l'avancement au moyen d'une plus grande dépense de force.

La Direction de la construction des chemins de fer Autrichiens a voulu faire une expérience concluante, établir une lutte entre les deux systèmes : elle a installé, d'un côté du tunnel de l'Arlberg, le système Brandt et de l'autre les systèmes Ferroux et Seguin. L'avancement journalier de la galerie, que prescrivent les contrats, est de 3^m30. Voici les résultats obtenus jusqu'ici. Du côté *ouest*, avec la machine Brandt, l'avancement moyen journalier a été, depuis l'origine (novembre 1880), de 3^m62. Tout à l'origine la moyenne de 3^m30 n'a pas été atteinte, mais cela a eu lieu après quelques mois et elle a été dépassée à la fin de 1881. Les avancements des derniers mois ont été remarquables ; ainsi, en avril 6^m37, en mai 6^m29, en juin 5^m19, en juillet 4^m81, en août 1882 5^m16, en septembre 4^m5, et en octobre 4^m65. Et cependant les circonstances étaient défavorables ; sur une grande partie de la longueur, on a rencontré des roches délitées, humides, exigeant de forts boisages qui, on le sait, retardent beaucoup la perforation, en faisant perdre du temps entre chaque poste. Chose remarquable, la perforation mécanique a pu continuer dans ces terrains, tandis que dans leurs similaires au Gothard on avait dû la suspendre pour percer à la main.

Du côté *est* où l'on a généralement rencontré des roches plus dures et plus compactes nécessitant moins de boisages dans la galerie, c'est-à-dire toute la série des schistes cristallins passant quelquefois au gneiss et où l'on a employé les perforatrices à percussion et à air comprimé de Ferroux et Seguin, l'avancement moyen journalier a été, depuis l'origine (novembre 1880), de 4^m86. Celui des derniers mois a été de 5^m27 en avril, 4^m83 en mai, 6^m44 en juin, 5^m36 en juillet, 4^m86 en août, 5^m16 en septembre et 4^m85 en octobre 1882. On voit donc que, pendant ces derniers mois, on a réussi à obtenir avec la perforatrice Brandt des avancements équivalents à la perforatrice Ferroux, et précisément alors que la dureté de la roche allait en augmentant. Jusqu'ici les conditions ont été différentes des deux côtés, quant à la nature des roches à percer ; il est probable que les deux chantiers d'attaque se trouveront prochainement dans des conditions identiques et la comparaison pourra alors être complète.

Nous ne doutons pas que la machine de M. Brandt ne donne des avancements équivalents. Si cela se confirme, elle sera à préférer à cause de la force moindre qu'elle consomme, de son installation et de son exploitation plus économiques. Ce serait donc le système de perforation à choisir. Il présente encore un autre avantage, dont nous

avons parlé à propos des forces motrices disponibles, c'est d'être facilement actionné par des machines à colonnes d'eau qui permettent d'utiliser des chutes très fortes de 300 à 400 mètres, tandis que les perforatrices à percussion ne sont avantageusement actionnées que par des turbines qui ne peuvent guère utiliser pratiquement des chutes dépassant 200 mètres.

Une question importante à étudier est celle de l'enlèvement et du chargement sur wagon des déblais, opération qu'on appelle *marinage*. La rapidité de la perforation a donné à peu près tout ce qu'elle pouvait donner, ce sera presque toujours la question du marinage qui retardera. Pendant cette opération, celle de la perforation proprement dite est suspendue; plus on diminuera ce temps, en perfectionnant les moyens d'enlèvement des déblais, plus on augmentera l'avancement. Quelques progrès ont été réalisés dans ce sens au tunnel de l'Arlberg; mais l'attention des ingénieurs et des entrepreneurs devra être constamment portée sur ce point important pour chercher à améliorer cette partie du travail. Il est évident qu'une ventilation abondamment distribuée facilitera considérablement les conditions dans lesquelles s'effectuera ce travail.

En ce qui concerne la *ventilation*, lors même qu'on emploierait l'air comprimé pour actionner les perforatrices, au lieu de l'eau comprimée, comme dans le système Brandt, il est prudent de traiter la ventilation tout à fait à part et de ne point compter uniquement sur l'air de la perforation. L'expérience comparative du Gothard et de l'Arlberg ne laisse aucun doute à cet égard. Au premier tunnel, les emprunts faits dans le but de ventiler les divers chantiers sur la conduite d'air à haute pression destinée à actionner les perforatrices, donnaient une ventilation insuffisante pour ceux-ci. De plus ils faisaient baisser la pression initiale de 6 à 7 atmosphères à 3 et même à 2 atmosphères, au fond de la galerie, ce qui était insuffisant pour assurer la marche régulière de la perforation. Pour la ventilation, on n'a pas besoin d'air à une haute pression, il suffit de 1 à 1 $\frac{1}{2}$ atmosphère, mais il faut en apporter la plus grande quantité et abaisser le plus possible la température de cet air. Il sera donc indiqué d'installer pour la ventilation des conduites d'air spéciales et de grand diamètre, qu'on fera passer, avant l'entrée dans le tunnel et au sortir des compresseurs, dans des réservoirs réfrigérants et qu'on entourera d'enveloppes non conductrices de la chaleur. On introduira par chaque orifice, lorsque la galerie aura pénétré de plusieurs kilomètres à l'intérieur, au moins 200 mètres cubes d'air par minute. Au Gothard on n'a pas dépassé 100 m³: la moyenne a été de 55 m³ à 65 m³ et même elle est descendue quelquefois, en hiver, à 30 m³; à l'Arlberg on s'est organisé pour introduire 150 m³. Ce qui a été dit au sujet des forces motrices disponibles permet d'affirmer qu'au Simplon cette organisation pourra se faire très facilement et qu'on pourra mettre en action, dans ce but, les compresseurs ou les ventilateurs les plus puissants.

Pour obtenir une bonne ventilation, il ne faut pas se contenter d'introduire une

grande quantité d'air par les orifices, il faut encore songer à l'*extraction de l'air vicié*, ce qui avait été pratiqué au Mont Cenis et tout récemment au tunnel du *Pfaffensprung* sur la ligne du Gothard ¹ et ce qui se pratique actuellement au tunnel de l'Arlberg. On utilisera avantageusement, dans ce but, la galerie de faite ou de calotte dans laquelle on établira une tubulure spéciale en tôle dans la partie où le tunnel est achevé; on en partagera la section en deux parties par un diaphragme; la partie supérieure pourra être mise en communication avec une cheminée d'appel vers les têtes. Cette extraction de l'air pourrait être encore activée par l'établissement d'un ventilateur centrifuge, ou aspirateur, placé à chaque tête vers les cheminées d'appel.

Le profil en long du massif, au-dessus du tunnel, fait voir que :

1° Pour le tunnel de 19 km 795 m. de longueur, il existerait : *a*) dans la vallée de la Ganther, au-dessous de Bérissal, un point situé à 6000 m. de distance de la tête nord, où la hauteur verticale au-dessus du tunnel serait de 800 m.; *b*) à 4560 m. en arrière de la tête sud, dans la vallée de la Cherasca, près de Campo, il existerait un point analogue, avec une profondeur de 800 m.

2° Pour le tracé avec une plus forte brisure de l'alignement et une longueur de 20 000 m. : *a*) le point le plus rapproché de la surface serait à 6500 m. de la tête nord et à une profondeur de 1000 m. dans la vallée de la Ganther, près de Bérissal; *b*) et du côté sud à 5300 m. de la tête dans la vallée de la Cherasca, vers Campo, avec une profondeur de 680 m.

A ces deux points il existe des chutes d'eau importantes qui pourraient, sans préjudice de l'utilisation de ces mêmes cours d'eau pour les installations aux têtes du tunnel, fournir une force motrice suffisante pour la perforation mécanique et pour l'épuisement de ces puits jusqu'à leur rencontre avec les galeries d'avancement et enfin pour l'introduction, par ces orifices, d'air comprimé pour la ventilation, ou pour l'aspiration de l'air vicié.

On n'a pour ainsi dire pas d'expériences sur le coût et la durée du forage de puits à une aussi grande profondeur, aussi est-ce avec une certaine hésitation que nous émettons l'idée du forage de ces puits, et que nous avons introduit de ce chef, dans nos devis du grand tunnel, une somme de 900 000 fr. pour chacun d'eux ou de 1 800 000 fr. pour les deux. Ce point devra faire l'objet d'une étude toute spéciale; il est toutefois hors de doute que, si cette étude amenait à reconnaître la praticabilité du forage de ces puits, les conditions de ventilation déjà favorables qu'on pourrait obtenir par les orifices seraient

¹ Voir la note précitée, de M. J. Michel, dans la *Revue générale des chemins de fer* de juin 1881, pag. 448 et une note de M. l'ingénieur Trautweiler sur la température et la ventilation au tunnel du Pfaffensprung, insérée dans le volume XV, N° 8, page 43, du 20 août 1881 du journal le *Chemin de fer*, paraissant à Zurich.

encore considérablement améliorées. Ils permettraient certainement aussi d'exercer une bonne influence sur la réfrigération de la température intérieure dans les différents chantiers. S'ils atteignent le plafond du tunnel avant que les galeries y arrivent, ils pourront, dans une certaine mesure, contribuer à l'avancement des travaux, sans toutefois qu'il y ait beaucoup à attendre de ce côté, en raison de la difficulté d'extraction et d'élévation des déblais.

Il est incontestable qu'une ventilation aussi abondante atténuera dans une large mesure les effets des hautes températures intérieures et augmentera le rendement du travail des ouvriers. Nous avons prévu pour les installations un chiffre si considérable, qu'on pourra faire tout ce qu'on désirera comme ventilation. Nous avons aussi prévu qu'on amènera dans le tunnel de l'eau potable pour les ouvriers, ce qui contribuera à améliorer les conditions hygiéniques des chantiers.

c) Durée probable des travaux et devis du grand tunnel.

En ce qui concerne la durée probable des travaux, il faut tenir compte des grands progrès qui ont été réalisés dans la perforation mécanique. Au tunnel de l'Arlberg, et depuis l'origine de la perforation mécanique, la moyenne de l'avancement journalier de la galerie a été de 4^m134 par attaque et par vingt-quatre heures. L'avancement a été constamment en s'améliorant et il a été en moyenne, pour les six mois d'avril à octobre 1882, de 4^m99 et 5^m385 par attaque et par vingt-quatre heures, soit de 9^m97 pour les deux attaques.

Les 13 1/2 premiers kilomètres du tunnel du Simplon, à partir de la tête nord, rencontreront, comme on l'a vu dans l'exposé géologique, des roches qui auront comme dureté la plus grande analogie avec celles de l'Arlberg, soit les schistes lustrés gris sur environ 4 km. et la série des schistes cristallins passant quelquefois au gneiss sur 9 1/2 km. Les 6 1/2 premiers kilomètres, à partir de la tête sud, rencontreront du gneiss granitique homogène, dit gneiss d'Antigorio, sur une longueur de 3 km., plus dur il est vrai que les roches de l'Arlberg, mais considéré cependant par les géologues de la compagnie comme avantageux pour la perforation mécanique et comme moins difficile que les granits rencontrés du côté nord du Gothard. Au milieu de ces gneiss on rencontrera probablement sur 3 km. les mêmes schistes cristallins que dans la partie centrale. Il ne sera donc pas téméraire d'admettre, pour le tunnel du Simplon, un avancement de 4^m50 par jour et par attaque, soit 9 m. pour les deux, ce qui donnerait, pour la plus grande longueur prévue, de 20 km. :
$$\frac{20\,000 \text{ m.}}{9 \text{ m.}} = 2222 \text{ jours, soit donc six ans trente-deux jours.}$$

En tenant compte de la période d'installation, pendant une partie de laquelle on travaillera à la main, et du temps qui devra s'écouler entre la rencontre des galeries et l'achèvement du tunnel¹, nous pouvons admettre une durée probable de sept années pour la construction du grand tunnel. C'est sur cette donnée qu'on s'est basé pour évaluer les intérêts intercalaires et les frais généraux.

En ce qui concerne le *devis estimatif du grand tunnel*, nous le publions séparément en y comprenant les éléments, séries de prix, etc., sur lesquels il repose, et nous accompagnons cette publication d'un *mémoire explicatif* pour justifier les bases et modes d'évaluation admis par nous. Nous nous bornerons à résumer succinctement cette note.

Dans toutes les estimations faites jusqu'ici pour ce tunnel, on l'évaluait à 4000 fr. le mètre courant, sans les frais généraux et la voie de fer. Nous sommes arrivés au chiffre de 3655 fr. le mètre courant en y comprenant tous ces éléments.

Nous avons, en première ligne, tenu compte des expériences réalisées à l'Arlberg où, en raison des progrès obtenus dans les travaux, on applique des prix plus bas qu'au Gothard, prix qui sont cependant très rémunérateurs pour les entrepreneurs chargés de ces travaux.

Nous avons, en outre, tenu compte des conditions particulièrement avantageuses dans lesquelles se trouvera le tunnel du Simplon, au point de vue des accès et de l'abaissement qui en résulte dans le prix de revient du transport des matériaux et du matériel. On sait que la ligne actuelle, d'une exploitation facile, va jusqu'à la tête nord du tunnel et que tous les matériaux pourront être transportés directement et sans transbordement sur les chantiers. On sait aussi que, du côté sud, les chemins de fer italiens seront sous peu en exploitation jusqu'à Domo d'Ossola, qui n'est séparé de la tête sud du tunnel que par 19 kilomètres d'une bonne route relativement facile.

Ces conditions sont bien plus avantageuses que celles rencontrées au Mont Cenis, au Gothard et à l'Arlberg. Leur influence sur les prix de revient des matériaux est énorme. Ainsi, sur le transport de la chaux seulement, la différence est de 50 fr. en moyenne par tonne, ce qui représente 75 fr. de diminution par mètre courant de tunnel pour ce seul élément. Cette influence des transports sera aussi considérable sur les lourds tuyaux, machines, etc., objets constituant les installations.

Il a été admis que les installations mécaniques et immobilières se feraient par l'administration et ne seraient pas réparties sur les prix d'unité des travaux. On a compté au devis, pour celles-ci, la somme considérable de 7 1/2 millions, le double à peu près de ce qui a été dépensé pour ces mêmes objets au Gothard et à l'Arlberg.

Pour la perforation du tunnel, on paie à l'Arlberg : 1° pour la galerie de base, 315 francs le mètre courant, avec une majoration de 21 fr. par chaque kilomètre d'avance-

¹ A l'Arlberg ce temps est fixé par contrat à cent quatre-vingts jours ou six mois.

ment; 2° pour la galerie de calotte, 210 fr. par mètre courant et 10 fr. 50 de majoration; 3° pour le surplus de l'excavation, 16 fr. 80 par mètre, plus une majoration de 0 fr. 85 par kilomètre.

Nous avons admis :

1° Galerie de base, 450 fr. le mètre courant; majoration, 25 fr.

2° Galerie de calotte, 250 fr. et majoration, 15 fr.

3° Déblais complémentaires, 25 fr. le mètre courant, plus 1 fr. de majoration par km.

Ces prix représentent une augmentation constante de 43 % sur les prix élémentaires, et une nouvelle augmentation de 22 % sur les majorations kilométriques.

Nous pensons avoir ainsi tenu largement compte de toutes les difficultés qui résulteront de la plus grande longueur du tunnel et de la plus grande dureté de la roche qu'on rencontrera sur une partie du massif du Simplon par rapport à celui de l'Arlberg; nous avons même la conviction très ferme que ces majorations sont exagérées.

En ce qui concerne les prix des revêtements en maçonnerie, nous les avons établis de la manière suivante. Nous avons dressé une série de prix raisonnée et complète des diverses espèces de maçonneries, en tenant compte des provenances de matériaux et des frais de transport et dans la fiction que ces travaux s'exécuteraient à la tête du tunnel; dans la composition de ces prix, nous prévoyons déjà 10 % à 15 % de bénéfice sur la main-d'œuvre. Nous avons ensuite majoré ces prix; une première fois d'environ 40 % en moyenne, pour tenir compte des difficultés spéciales d'exécution dans un grand tunnel, telles que difficulté de mise en œuvre résultant des échafaudages, cintres, étais, chaleur, ventilation.

Outre cette première majoration, il a été ajouté une seconde majoration kilométrique, comme pour l'excavation; elle est de 1 fr. 25 par mètre cube pour les maçonneries brutes et va jusqu'à 5 fr. par mètre cube et par kilomètre pour la taille.

Malgré ces énormes majorations, les prix des maçonneries sont inférieurs à ceux qui ont été appliqués aux tunnels du Gothard et de l'Arlberg, mais cela s'explique facilement; c'est en effet ici que se fait surtout sentir l'atténuation résultant des facilités d'accès, de l'économie des transports et du fait qu'on trouvera à proximité immédiate des deux têtes de tunnel les carrières fournissant tous les matériaux, ce qui n'était pas le cas aux deux tunnels cités.

Il a été établi 11 profils types : le premier est celui du vide normal du tunnel; le second prévoit l'excavation pour le revêtement minimum de 0^m40 d'épaisseur, mais sans revêtement; le troisième, ce revêtement de 0^m40 en pierres brutes litées; enfin les autres, des revêtements dont l'épaisseur varie successivement de 0^m50, 0^m60, 0^m70, 0^m80 et 1 m., quelques-uns avec radier.

Nous avons prévu, sauf dans les parties où il y aurait des pressions de terrain, des

voûtes et piédroits en moellons bruts lités, ou simplement refendus, avec mortier hydraulique de la meilleure qualité; dans les parties où l'on pourrait prévoir des pressions, nous prévoyons l'emploi du moellon d'appareil ou de la taille pour toute l'épaisseur et le mortier de ciment Portland et par place des radiers de 0^m65 et de 0^m80 d'épaisseur. Les prix de la série majorée dont nous venons de parler ont été appliqués aux quantités de l'avant-métré de ces divers types; on a déterminé, pour chacun de ces types et pour chaque kilomètre, les prix à payer par mètre courant de tunnel, prix qui sont à ajouter à ceux déjà payés pour les deux galeries, et comprenant donc l'achèvement complet du tunnel, supplément d'excavation pour battage au large et revêtement.

En ce qui concerne les longueurs sur lesquelles chacun de ces profils types a été appliqué, on s'est basé sur les explorations géologiques dont nous avons parlé au chapitre III *b*. On a comparé les épaisseurs admises au Gothard, dans des formations similaires, et on a procédé par assimilation, mais très largement. Aussi, lors même que les géologues déclarent la constitution géologique du Simplon plus avantageuse que celle du Gothard, au point de vue de la résistance des roches, partant aussi des épaisseurs de revêtement, le groupement de nos hypothèses fait ressortir que nous avons appliqué le revêtement minimum de 0^m40 de profil type N° 3¹ sur 73,913 % de la longueur totale, tandis qu'au Gothard on l'a appliqué sur 78,446 %. En d'autres termes, nous prévoyons l'emploi des fortes épaisseurs de revêtement sur une plus grande longueur.

Quant à la forme générale du devis, elle se lie à celle que nous nous proposons de donner au marché. Nous supposons une forme de marché se rapprochant de celle que la Direction impériale et royale des chemins de fer de l'Etat autrichien a appliquée avec succès au tunnel de l'Arlberg, et ceci dans le but d'éviter les nombreuses difficultés et les procès non encore terminés qu'a amenés au Gothard la trop grande omnipotence laissée à l'entreprise. Les installations seraient faites par l'administration et à ses frais; elle en reste toujours propriétaire et les met gratuitement à la disposition des entrepreneurs, qui n'en ont que l'entretien. Ceux-ci n'ont donc pas à en répartir le coût sur leurs prix d'unité, et c'est pour cela que ces installations ont été évaluées à part dans le devis.

Les travaux du tunnel seraient payés, comme on vient de le voir, à des prix qui iraient en croissant pour chaque kilomètre; le devis est donc établi pour chaque kilomètre.

Le marché indiquerait la quantité de l'avancement journalier de la galerie, prévoyant une retenue en cas de retard et une prime en cas d'avance. Il stipulerait que l'achèvement complet doit suivre les galeries d'avancement au moins à 600 m. ou 180 jours, prévoyant également une retenue en cas de retard ou une prime en cas d'avance.

Pour le cas où l'entrepreneur ne remplirait pas ses engagements, l'administration se

¹ Nous ne prévoyons aucune partie non revêtue, c'est-à-dire que nous ne prévoyons pas l'application des profils N° 1 et 2.

réserverait de résilier le contrat. Le mode de paiement proposé faciliterait l'établissement rapide du décompte des travaux faits. L'administration, propriétaire des installations mécaniques et des bâtiments, n'aurait donc aucune difficulté à en disposer. Elle pourrait continuer les travaux directement, sans interruption aucune, par voie de régie ou de réadjudication à une autre entreprise. Elle se réserverait, dans ce cas, le droit de se faire céder par l'entrepreneur, à prix débattus ou à dire d'experts, tout l'outillage et l'inventaire industriel : matériel de voie, de transport, locomotives, chevaux, wagons, outillages, approvisionnements, etc., etc.

Nous ferons encore observer qu'indépendamment de la somme de 3 336 379 fr. qui a été ajoutée au total pour imprévu et pour arrondir, il avait déjà été ajouté diverses sommes, dans le même but, sur les totaux des chapitres spéciaux ou de leurs subdivisions. Le total des sommes ainsi ajoutées s'élève à 4 980 198 fr. sur 68 419 802 fr., soit le 7,311 %. (Voir le résumé récapitulatif des devis à page 60.)

Nous avons donc la ferme conviction que le chiffre de 3655 fr. par mètre courant de tunnel, auquel nous sommes ainsi arrivés, constitue un *maximum* qui ne sera certainement pas atteint. Une étude détaillée des installations accuserait une économie sur nos prévisions à cet égard. De même, l'étude détaillée des prix de revient de l'excavation et des revêtements que les entrepreneurs devront nécessairement faire, à l'occasion d'une mise en adjudication qui attirera de nombreux concurrents, amènera ceux-ci à de notables rabais sur les prix prévus. En un mot, on ne peut redouter aucune déception sur le chiffre total de la dépense.

d) Résumé récapitulatif des devis du grand tunnel du Simplon.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES DU DEVIS	1/2 COTÉ NORD Brigue	1/2 COTÉ SUD Iselle	TOTAL pour les deux attaques
	Francs	Francs	Francs
A. Frais généraux. Etudes, direction des travaux, frais de bureau, d'administration	510 000	510 000	1 020 000
B. Expropriations et indemnités	50 000	50 000	100 000
C. Installations, machines, bâtiments, chemins	3 400 000	4 100 000	7 500 000
D. Sondages et puits	900 000	900 000	1 800 000
E. Construction du tunnel proprement dit. Excavation, revêtement en maçonnerie, aqueducs, niches, etc.	28 450 690	27 715 402	56 166 092
F. Superstructure. Ballastage, voie de fer (double voie) et accessoires : signaux, éclairage, etc.	849 899	933 780	1 783 679
G. Matériel roulant	296 925	296 925	593 850
H. Sommes à valoir pour imprévu et pour arrondir	1 642 486	1 693 893	3 336 379
Total pour le tunnel de 19 ^{km} ,795	36 100 000	36 200 000	72 300 000
soit par mètre courant $\frac{72300000}{19795} = \text{fr. } 3652.$			
 N.B. Si l'on adoptait la variante du mois d'août 1882 avec une brisure plus forte et une longr de 20 km., il y aurait à ajouter	400 000	400 000	800 000
Total	36 500 000	36 600 000	73 100 000
soit par mètre courant $\frac{73100000}{20000} = 3655 \text{ fr.}$			

CHAPITRE V

LIGNE D'ACCÈS NORD ET GARE INTERNATIONALE

La tête nord du tunnel est, suivant le projet actuel, à une distance de 2448^m50 en amont de l'axe du bâtiment qui sert actuellement de gare aux voyageurs à Brigue. Ce bâtiment est le point de départ ou le zéro de notre kilométrage. La tête nord est à la cote 689 m. au-dessus du niveau de la mer. Comme tracé, nous avons d'abord une courbe de raccordement de 500 m. de rayon et de 168^m22 de développement, un alignement de 588^m45 sur lequel se grouperaient les principales installations de la nouvelle gare internationale, une courbe de 500 m. de rayon et de 399^m53 de développement, un alignement de 601^m50 et une courbe de 500 m. de rayon et de 736^m05 de développement. Cette dernière se prolonge de 137 m. dans le grand tunnel.

Comme profil la ligne actuelle serait relevée par un remblayage de la gare de Brigue. Ce remblayage aurait son origine à 330 m. en arrière du bâtiment aux voyageurs actuel. A partir de ce point on aurait une rampe de 10 millimètres de 402^m62 de longueur qui se terminerait à 72 m. au delà du point zéro.

Là commencerait le palier de la nouvelle gare internationale, d'une longueur de 1128 m. et à l'altitude de 679^m45. A ce palier suit une rampe de 7^{mm}65 qui s'étendrait jusqu'à la tête du grand tunnel.

La grande route de la Furka, qui traverse aujourd'hui les voies à niveau, vers l'extrémité de la gare actuelle de Brigue, serait franchie par un pont pour passage inférieur de 6 m. d'ouverture. Ce tracé exigerait, sur une longueur d'un kilomètre environ, près de Zwinggarten, une correction du lit du Rhône, qui en ce point décrit une courbe se

rapprochant du pied de la falaise de la rive gauche, et des travaux de défense pour les remblais de la gare, vis-à-vis de Naters. Il y aurait lieu d'examiner s'il ne serait pas préférable de s'entendre avec l'Etat du Valais et le Gouvernement fédéral, pour prolonger la correction du Rhône d'après le type normal, de 3 kilomètres environ en amont et jusqu'au confluent de la Massa.

La gare internationale, qui aurait son origine au pont de la route de la Furka, serait entièrement en remblais dont la hauteur varierait entre 1^m65 et 5^m95. Ces remblais proviendraient des matériaux du tunnel dont on augmenterait la distance de transport de 1600 m. La gare aurait une longueur de 1135 m. La largeur normale de la plateforme serait de 127 m. et sa superficie de 127 000 m². Nous avons dressé un avant-projet sur les bases des gares analogues de Modane, Ventimiglia et Chiasso, soit pour déterminer les dimensions de la plateforme soit pour servir de base à nos devis. On constatera, par un coup d'œil jeté sur le plan, que le terrain sur lequel elle est établie étant plat et de très peu de valeur (grèves et alluvions du Rhône) aucun obstacle ne se présenterait à un agrandissement que pourraient nécessiter les développements ultérieurs du trafic.

Il sera sage de s'assurer d'emblée un grand périmètre, en vue de ces agrandissements futurs.

Il n'y a de travaux d'art, sur cette section, que le pont sur la route de la Furka, un aqueduc de 3 m. d'ouverture pour le ruisseau ou fossé d'irrigation de Brigue, et un autre aqueduc voûté de 2 m. près de la tête du tunnel. Nous donnons ci-après le résumé du devis de cette section dont le détail se trouvera aux annexes.

1° Frais généraux, frais d'administration, d'études et de direction des travaux	Fr.	62 000
2° Expropriations	»	150 000
3° Terrassements et ouvrages d'art soit infrastructure	»	345 500
4° Superstructure. Voies et ses accessoires, branchements, plaques tournantes, etc.	»	727 500
5° Bâtiments	»	671 000
6° Clôtures et plantations	»	5 500
7° Matériel fixe et signaux, alimentation, etc.	»	100 000
8° Matériel roulant, 30 000 fr. par kilomètre (part afférente) . . .	»	73 500
9° Outillage de la voie.	»	2 000
10° Mobilier	»	16 000
11° Somme à valoir pour imprévu	»	247 000
Total de l'estimation,		Fr. 2 400 000

Nous n'avons pas prévu dans notre estimation l'atelier de réparation à cette gare.

Cette installation nous paraît inutile. Les ateliers actuels de la Compagnie de la Suisse Occidentale et du Simplon sont plus que suffisants pour faire face à cet accroissement de son réseau.

Nous avons étudié une variante dans le but d'éviter les augmentations de dépenses qui résulteront du relèvement de la voie actuelle sur 330 m., de la construction du pont sur la route de la Furka et de l'augmentation de la distance de transport des 600 000 m³ environ de déblais du tunnel pour former la plateforme de la gare internationale. D'après cette variante on ne changerait rien à la gare et à la ligne actuelle. Nous aurions, depuis le point zéro, un alignement de 113^m45 (partie de l'alignement de la gare actuelle), une courbe de 500 m. sur 125^m65, un alignement sur 63^m6, une courbe de 500 m. sur 311^m18, un alignement de 677^m51 (au milieu de la gare) et une courbe de 550 m. sur 759^m25, compris le prolongement de 135 m. dans le grand tunnel. Cette variante serait de 35^m93 plus courte que le premier projet. Comme profil, nous aurions une rampe de 10 millimètres sur 855 m., commençant au point zéro, un palier de 1057^m57 dans la gare, et une rampe de 10 millimètres sur 500 m. jusqu'à la tête du grand tunnel. Nous avons pris les mêmes dimensions pour la gare; l'axe de celle-ci se trouverait ainsi repoussé à 853^m50 plus loin. Au point de vue du service international, il n'y aurait aucun inconvénient; au contraire, il est préférable que la gare soit le plus près possible de la tête du tunnel. Il y aurait un très petit inconvénient pour le trafic local de Brigue, soit un allongement de parcours de 500 m., avec une route d'accès parfaitement plate, le long de laquelle cette localité pourrait se développer. En revanche on réaliserait, par l'adoption de cette variante, une économie de 120 000 fr. L'exécution de ce projet coûterait 2 280 000 fr.

CHAPITRE VI

LIGNE D'ACCÈS SUD

Nous allons examiner et décrire successivement les différentes lignes que nous avons étudiées ainsi que celles qui ont été étudiées avant nous et sur lesquelles le choix pourrait encore porter aujourd'hui : nous commencerons par celle qui présente la déclivité la plus faible, de 12,5 millimètres par mètre, que nous avons étudiée en détail.

Ces divers tracés ont tous pour origine la même tête de tunnel, à la cote 627^m83 en aval d'Iselle, c'est-à-dire que le tunnel est commun à toutes les variantes.

1. Tracé sur la rive droite de la Diveria, et de la Toce, avec déclivité de 12 1/2 ‰ sur 30 km. 314 m., se raccordant à Piedimulera.

Indiquons d'abord les motifs qui nous ont fait préférer la rive droite de la Diveria à la rive gauche, sur laquelle avaient été étudiés les projets présentés jusqu'ici.

Sauf la traversée de la colline de Varzo où se trouvent de nombreux villages, de belles cultures et où les pentes sont relativement douces, la rive gauche présente de nombreux éboulements, avec des blocs de très grandes dimensions, éboulements dont la plupart paraissent récents.

Déjà à 5500 m. de la tête du tunnel on quitte les coteaux de Varzo, et le tracé à 12,5 millimètres, qui est encore très élevé en ce point, se trouverait sur plus de cinq kilomètres, jusque près de Crevola, en plein dans les parois de rochers presque verticales et très déchirées. Arrivé près de Crevola, il faut nécessairement franchir la Diveria pour gagner la rive droite de la vallée de la Toce et s'y développer.

Ce passage s'effectuerait à une si grande hauteur et donnerait un viaduc si considérable qu'on ne peut y songer sérieusement.

Sur la rive droite, en revanche, les pentes transversales sont en général plus fortes mais moins cependant qu'entre les km. 28 à 34 de la rive gauche. On y rencontre aussi des éboulements, mais les matériaux qui les composent sont plus petits, et comme ces éboulements sont partout boisés et recouverts d'une végétation ancienne, ils doivent être très anciens et de nouveaux éboulements paraissent peu à craindre. Partout où l'on pourrait avoir à redouter des chutes de pierres ou des avalanches, on sera en tunnel ou en galerie. Telles sont les raisons qui nous ont fait préférer la rive droite pour le tracé à 12,5 ‰.

D'une manière générale, la rive droite se prête mieux aux tracés à faible pente, et la rive gauche aux tracés plus directs et à fortes inclinaisons, se rapprochant du thalweg de la vallée.

Immédiatement après la sortie du grand tunnel qui débouche sur la rive gauche, la ligne passe par-dessous la route du Simplon et traverse la Diveria par un pont biais de 30 m. de portée. La Diveria serait déviée sur une longueur de 900 m. environ, pour ménager un emplacement suffisant afin d'y déposer les déblais du tunnel, emplacement qui serait en même temps celui de la gare commune à Iselle et à Varzo. Cet emplacement serait relié à la route du Simplon par un pont et une route d'accès. Le tracé suit la rive droite de la Diveria à une assez grande hauteur au-dessus du thalweg et coupe fréquemment par des tunnels, des galeries ou de fortes tranchées, les parois de rocher qui s'élèvent presque verticalement au-dessus des éboulis anciens. Il n'offre rien d'exceptionnellement difficile sur les neuf premiers kilomètres, soit jusqu'au km. 31 (origine à Brigue). Vers le km. 32 on traverse successivement sur des ponts et des viaducs les quatre ravins ou ruisseaux de Balmo, de Berrò, de Verzate et de Bura, dans lesquels descendent quelquefois des avalanches, mais les ouvrages seront assez élevés pour que celles-ci puissent passer par-dessous et soient par conséquent inoffensives pour la ligne. Au kilomètre 33, vis-à-vis de Crevola, le tracé passe, par un tunnel en courbe, sous la colline de Bosco et il se reporte sur le flanc droit de la vallée principale de la Toce ou de l'Ossola. Il côtoie ce flanc à une assez grande hauteur.

Deux ravins profondément coupés, celui de la Fontana et celui de Deseno, au-dessus de Mocogna, nécessitent des viaducs d'une certaine importance. Aux abords de ce dernier, les contreforts sont coupés par des tunnels. En sortant de ceux-ci, près de Cisore, le tracé pénètre dans la vallée de Bognanco, où coule la Bogna; il s'y développe et la franchit au moyen de deux tunnels, l'un de 960 m., l'autre de 2 km. 40 m. (le plus long après le grand tunnel du Simplon) et un viaduc de 59^m de longueur. Le tracé passe au-dessous de Vagna et arrive à la colline du calvaire de Domo d'Ossola, qu'il franchit par

un petit tunnel. C'est immédiatement avant ce tunnel, à l'altitude de 370^m60, (95^m60 au-dessus de la ville) et au km. 43, 440 m., qu'a été ménagé le palier de la gare de Domo d'Ossola. Le tracé descend constamment à flanc de coteau, sur la rive droite de la vallée de la Toce jusqu'à Piedimulera. Le flanc de ces coteaux est moins abrupt que celui de la vallée de la Diveria, les pentes transversales sont moins fortes; ce tracé a par conséquent moins de mouvements de terre et moins de murs de soutènement. Il n'y a plus aucune trace d'éboulements ni d'avalanches, partout on est dans les schistes cristallins, plus ou moins durs et compactes qui donnent lieu sur plusieurs points à des exploitations de carrières, d'où l'on sort de magnifiques dalles; on y trouvera sur place même les matériaux pour les maçonneries. Sur ces rochers se trouvent des épaisseurs plus ou moins considérables de terre végétale, surtout dans les parties assez nombreuses qui sont cultivées en vigne. Si les pentes transversales sont plus douces que dans la vallée de la Diveria, en revanche elles sont encore coupées de nombreux contreforts et ravins qui nécessitent un certain nombre de tunnels et beaucoup d'ouvrages d'art, parmi lesquels plusieurs assez considérables qui font arriver le coût kilométrique de cette dernière section presque au même prix que celle d'Iselle à Domo. Ainsi, aussitôt après Domo, vers le km. 44, nous avons les contreforts et ravins de Crosiggia nécessitant un tunnel de 284 m. et un autre de 120 m. entre lesquels se trouve un viaduc de 64 m. de long et 17 m. de haut. Vient ensuite, entre les km. 45 et 46, la traversée des contreforts et du ravin de l'Anzuno nécessitant un tunnel de 208 m. et un autre de 108 m. et entre les deux un viaduc métallique de 30 m. de portée et 31 m. de hauteur. Au km. 47, au-dessous de Tappia, on franchit un ravin par un viaduc de 52 m. de longueur sur 28 m. de hauteur. Vers le km. 48, trois contreforts nécessitent des tunnels de 40 m., de 178 m. et 198 m. et l'on arrive au palier de la station de Villa d'Ossola située au km. 48, 852 m. et à l'altitude de 307^m40. Immédiatement après, on traverse la rivière de l'Ovesca et le val d'Antrona, formant en ce point une gorge resserrée, au moyen d'un viaduc mixte à deux voûtes et deux travées métalliques mesurant ensemble 93 m. de longueur et 28^m60 de hauteur. Ce viaduc est immédiatement suivi d'un tunnel de 845 m. de longueur sous le contrefort du Gaggio; avant d'arriver à Pallanzeno, km. 52, on rencontre encore trois petits tunnels de 122 m., 223 m. et 147 m. et un dernier tunnel de 125 m. sous le petit contrefort de Casali, km. 53. A ce point, km. 53, 200 m., nous quittons le coteau, pour rejoindre la gare de Piedimulera où nous nous raccorderons avec la ligne de Gozzano à Domo d'Ossola que construit en ce moment le gouvernement italien. Mais nous sommes encore à 16^m50 au-dessus du fond de la vallée, ce qui nécessite la construction d'un viaduc de 75 m. de longueur et de 16^m50 de hauteur, pour passer au-dessus du hameau de Sasslera et de la route de la vallée d'Anzasca, et d'un remblai en forme d'un S avec courbe et contre-courbe de 350 m., pour traverser la vallée et aller se souder aux

remblais exécutés par l'ancienne compagnie d'Italie, remblais qui devront être relevés de 3 m. environ.

Le point de raccordement serait au km. 53, 783 m. de Brigue, c'est-à-dire que la longueur de cette section sud, depuis la tête du tunnel à Iselle, serait de km. 31, 539^m60. L'altitude de ce point de raccordement serait de 247^m13¹.

Nous partons de la supposition que la ligne que construit le gouvernement italien sera poussée jusqu'à Domo d'Ossola sur une longueur de 10 km. 800 m. en utilisant les terrassements et autres travaux complètement terminés en 1862 par l'ancienne compagnie d'Italie. La ville de Domo et les localités voisines utiliseraient cet embranchement, et à Piedimulera, où très probablement tous les trains feront arrêt pour prendre de l'eau, les trains d'embranchement seront en correspondance avec ceux de la ligne internationale.

L'axe de la gare de Piedimulera se trouvera à 54 km. 033 m. de la gare actuelle de Brigue et à 42 km. 944 m. de Gozzano, suivant les renseignements qu'à bien voulu nous donner M. l'ingénieur en chef Mugnaini, directeur de la construction de cette ligne. Cet axe serait à 47 km. 463 m. du point de raccordement, vers Arona, de la ligne qui a été étudiée dès Ornavasso, le long du lac Majeur, par M. l'ingénieur Pensa, au nom du Comité promoteur milanais pour le percement du Simplon. Ce point de raccordement est situé à 1155^m15 au delà de l'axe du bâtiment aux voyageurs actuel de la gare d'Arona, dans la direction de Sesto et Milan. Ainsi, en prenant les distances dans les indicateurs italiens, il faudrait déduire 1155 m. des distances kilométriques d'Arona aux diverses gares du réseau italien, avant d'y ajouter celle de 47 km. 463 m. de Piedimulera ou de 101 km. 496 m. de Brigue à Arona.

Nous allons maintenant décrire plus en détail les éléments de ce tracé.

a) *Tracé, alignements et courbes.*

La longueur totale de la ligne, depuis la tête du tunnel, est de 31 km. 539^m60, se décomposant comme suit :

86 alignements . . .	13 km. 330 ^m 38	ou 42,3 %	de la longueur totale.
86 courbes	18 km. 209 ^m 22	» 57,7 %	» » » »
	<hr/>		
	31 km. 539 ^m 60	» 100 %	» » » »

¹ Rapportée au nivellement de précision suisse dont l'origine est la pierre du Niton à Genève, à la cote 376^m86. Un rattachement direct de ce nivellement avec les nivellements italiens nous a donné une différence constante de 2^m25; il faut donc retrancher de toutes nos cotes d'altitude 2^m25 pour les ramener au même plan de comparaison que les cotes des projets italiens.

Ces courbes se répartissent comme suit :

	Rayon.	Développement.	Prop. % de la long. totale.
21 courbes de 300 m.		4092,38	13
3 »	320 »	582,32	1,8
30 »	350 »	4618,42	14,6
14 »	400 »	3334,23	10,6
12 »	500 »	4295,15	13,6
1 »	750 »	183,59	0,6
4 »	1000 »	915,80	2,9
1 »	2000 »	187,33	0,6
<u>86</u> »		<u>18209,22</u>	<u>57,7 %</u>

b) Profil en long, paliers, rampes et pentes.

1 Palier (gare de Iselle-Varzo) . .	484,60
1 Pente de 0,002 (gare de Villa) . .	300
1 » de 0,00212 (gare de Domo) .	400
1 » de 0,008 (sortie du gr. tunnel)	41,14
3 » de 0,0125 (rampe constante).	30313,86
Total,	<u>31539,60</u>

c) Tunnels.

Les tunnels sont au nombre de 35, ayant une longueur totale de 9667 m., soit 30,65 % de la longueur totale de la ligne. Les plus courts ont 40 m. et le plus long, celui de la rive droite de la vallée de Bognanco a 2 km. 40 m. de longueur. Plusieurs de ces tunnels sont de simples galeries percées à une faible distance des parois de rochers et qu'on pourra ouvrir par des attaques multipliées au moyen de lunettes latérales. Nous les avons prévus tous revêtus, même dans le gneiss compacte, où nous avons encore supposé une voûte de 0,40 d'épaisseur en maçonnerie brute litée. L'exécution pourra peut-être y apporter des diminutions, en ce sens que dans les petits tunnels, dans le gneiss compacte, on pourra se passer de revêtement. Les économies qu'on pourra ainsi réaliser viendront grossir les sommes que nous avons réservées, dans nos devis, pour les imprévus.

d) Viaducs.

Les viaducs sont au nombre de 23, mesurant en totalité une longueur de 1423 m., soit 4,5 % de la longueur de la ligne. La longueur de ces viaducs varie entre 23 m.

pour le plus court et 136 m. pour le plus long. Aucun d'eux n'atteint donc des dimensions exceptionnelles. Nous en avons donné la description en même temps que celle du tracé.

e) Ouvrages d'art courants.

Le nombre de ces ouvrages est de 88 pour les ponceaux, aqueducs ou passages inférieurs, et de 6 pour les passages au-dessus de la voie. Pour chacun de ces ouvrages, il a été fait un avant-projet, un métré et un devis, dont le sommaire a été reproduit dans notre devis général, en y appliquant des types qui se rapprochent de ceux qui ont été appliqués sur les lignes d'accès du Gothard.

f) Passages à niveau.

Ils sont au nombre de 24, la plupart pour piétons seulement.

g) Maisons de gardes.

Nous en avons prévu 24, soit entre elles un espace moyen de 1314 m.

h) Gares et stations.

Nous avons prévu, à la sortie du grand tunnel, une station unique pour Varzo et Iselle, reliée avec la grande route du Simplon par un pont spécial sur la Diveria. La plateforme de cette station serait formée par les dépôts des matériaux provenant du grand tunnel. Nous y avons prévu une prise d'eau pour laquelle on pourra utiliser l'une ou l'autre des conduites d'eau installées pour la perforation du tunnel. Nous n'avons pas projeté de remise de locomotives ni de plaque tournante, attendu qu'avec des rampes de 12,5 ‰ il n'y aura pas lieu de changer la traction, et la même machine ira de Piedimulera à Brigue et vice versa. Si plus tard on reconnaissait l'utilité de ces installations, la plateforme prévue est suffisante pour pouvoir les faire.

Depuis Iselle-Varzo, il n'y aura pas de station jusqu'à Domo d'Ossola, soit sur un espace de 20 km. 920^m24.

Cet espacement paraît considérable. D'un côté il eût été difficile et coûteux, mais non impossible, d'intercaler un palier intermédiaire, en conservant la pente de 12 1/2 ‰ et d'un autre côté il faut considérer que, sur le parcours d'Iselle à Domo, par la rive droite, il n'y a pas de localité pour laquelle il eût valu la peine de s'imposer la dépense très considérable qu'exigerait l'intercalation d'un palier pour une station. Crevola et Preglia, les seules localités qui sont assez importantes pour être desservies par une station, et qui le sont par les autres tracés, ne pourraient être raccordées à une station sur ce tracé que par une route d'accès longue et difficile, très coûteuse de

construction. Ces localités seront beaucoup mieux et plus facilement desservies par la gare de Domo d'Ossola, tête de ligne de l'embranchement du fond de la vallée qui serait conservée, ou mieux encore par un tramway qui en formerait le prolongement. Le grand espacement des deux stations de Domo et d'Iselle-Varzo pourrait soulever des objections au sujet de l'alimentation d'eau des locomotives, objections que nous allons lever. On peut admettre que les plus fortes locomotives brûlent 20 kg. de houille par kilomètre, chaque kilogramme de houille vaporisant 10 kg. d'eau. Cela ferait donc, pour ce parcours, une consommation de $20 \times 21 \times 10 = 4200$ kg. ou litres ou 4^m3200 d'eau. Or ces locomotives ont des tenders d'une capacité de 10 m. au moins. A la rigueur, on pourrait même monter de Piedimulera à Iselle sans prendre de l'eau en route, la consommation étant alors de 6^m3400 . Néanmoins nous prévoyons à Domo une prise d'eau avec conduite et orifice de grue à grand diamètre pour pouvoir rapidement, et en une minute au plus, prendre 2 ou 3^m3 d'eau.

Cette gare de Domo se trouverait placée sur une pente de 2,125 ‰ sur 400 m. de longueur, comme celles de Villa d'Ossola et de Piedimulera. C'est la pente adoptée par le gouvernement italien pour la presque totalité des stations de la ligne de Domo à Gozzano. Elle ne présente aucune difficulté avec l'adoption des freins continus automatiques qu'on peut admettre comme généralisée et indispensable pour des lignes comme celle du Simplon.

L'altitude de cette station serait de 370^m60, soit environ 95 m. de différence de niveau avec la ville de Domo dont l'altitude est de 275 m. Comme chemins d'accès, nous aurions : *pour les piétons*, la rampe pavée du Calvaire qui a une longueur de 1500 m. depuis la place principale de Domo jusqu'au bâtiment aux voyageurs. Pour les *voitures* et le *roulage*, on établirait une route d'accès qui se détacherait de la route de la vallée de Bognanco, au-dessous de Vagna ; cette nouvelle route aurait une longueur de 1205 m. avec une rampe maximum de 7 ‰ sur une étendue de 678 m. Cette route d'accès emprunterait, sur 1050 m., la route actuelle et très plate de la vallée de Bognanco. La distance de Domo, place principale, à la gare serait de 2 km. 400 m.

Si Domo ne devait être desservi que par cette seule gare, nous reconnaissons que cette localité devrait s'imposer un lourd sacrifice pour rendre possible l'exécution d'une ligne internationale à faibles déclivités. Mais nous avons toujours admis que si l'on adopte ce projet à $12\frac{1}{2}$ ‰ par la rive droite, la ligne complète de Domo à Gozzano, telle qu'elle est actuellement projetée, sera construite et exploitée. De Piedimulera à Domo, où les terrassements et les travaux d'art sont terminés, le parachèvement de la ligne et sa mise en exploitation ne coûteraient pas plus de 800 000 fr. sans matériel roulant. Cette partie de la ligne, une fois la ligne internationale ouverte, serait exploitée comme embranchement. Des trains seraient en correspondance avec tous les trains internationaux

à Piedimulera où ces derniers feront arrêt. On peut affirmer que les relations de Domo et des localités voisines de Crevola, Masera et du val d'Antigorio se font pour plus des $\frac{9}{10}$ dans la direction du sud, vers Novare et le lac Majeur. Les relations, dans ce sens, seraient donc aussi bien desservies par cet embranchement que si la ligne internationale passait à Domo même.

La gare supérieure sur le tracé haut et sur la ligne internationale ne serait utilisée que pour les relations bien moins fréquentes que Domo d'Ossola entretient avec les localités du Val di Vedro, Varzo entre autres, et la Suisse. Ce ne serait pas là une grande atteinte portée aux intérêts locaux de Domo, mais elle est absolument indispensable pour rendre possible l'établissement de la ligne internationale avec faibles déclivités. Domo sera desservi comme le seront, en Suisse, après la construction actuellement commencée de la ligne du fond de la vallée, les localités plus populeuses et plus industrielles de Fleurier, Saint-Sulpice, Couvet, Môtiers, situées dans le val de Travers, sur la ligne de Neuchâtel à Paris. Pendant plus de vingt ans ces localités ont eu des gares hautes qui, pour la plus importante surtout, celle de Fleurier, étaient encore moins avantageusement situées que celle que nous projetons à Domo.

Le principal mouvement de Domo se fera donc évidemment à la gare inférieure, tête de ligne de l'embranchement sur Piedimulera. La gare supérieure aura un mouvement très restreint, aussi y avons-nous prévu des installations modestes, mais cependant suffisantes pour le service des voyageurs et des marchandises, tant en grande qu'en petite vitesse.

Comme nous l'avons dit, on y installera pour les machines une prise d'eau, qui sera facilement alimentée en utilisant les ruisseaux de Vagna et ceux du voisinage.

A Villa d'Ossola, nous aurons la station établie sur une pente de $2 \frac{0}{100}$ de 300 m.; elle comporterait une voie de garage, un bâtiment aux voyageurs de 3^e classe, abri et quai, une halle, quai et voie de chargement des marchandises.

A Piedimulera, nos devis ne prévoient aucune somme pour la gare de jonction, que nous supposons faire partie des dépenses de la ligne de Domo à Gozzano. Si l'on voulait comprendre cette installation dans le devis de la rampe sud, il y aurait lieu d'ajouter à ce devis une somme de 900 000 fr. pour excédants d'expropriations et de terrassements pour la plateforme, pour le plus grand développement des voies et quais, les plus grandes dimensions des bâtiments aux voyageurs, remises pour locomotives et wagons, et installations pour tourner les locomotives et les alimenter d'eau et de combustible.

i) *Devis estimatif.*

Comme nous l'avons dit plus haut, le projet ayant été rapporté sur des profils en travers distants au maximum de 20 m. les uns des autres et au nombre de près de 1800, il a été fait des métrés des déblais et remblais, des murs de soutènement et des perrés; on a fait une épure graphique du mouvement des terres qui a permis de déterminer les distances partielles de transport et la distance moyenne pour toute la ligne, et on a appliqué à ces distances moyennes les prix de la série des transports.

Pour les tunnels et galeries, on a établi des types de revêtement au nombre de six et pour chaque type le prix du mètre courant; pour l'application des types on s'est basé sur la nature des roches. Partout on a prévu des revêtements, même dans les gneiss granitiques les plus compactes, où l'on a prévu une voûte d'au moins 0^m40 d'épaisseur en pierre litée. Il résulte de ces applications de types que les 35 tunnels et galeries, mesurant ensemble 9667 m., sont évalués à 9 386 000 fr., ce qui fait ressortir le prix moyen à 970 fr. 90 le mètre courant.

Pour chaque ouvrage d'art il a été fait un avant-projet spécial avec un métré et devis auquel on a appliqué les prix de la série et dont le total seulement est reporté dans le devis général; l'ensemble de ces dépenses ascende à 4 151 500 fr.

Le ballastage a été compté à 3 fr. 50 le mètre cube; il sera fait en grande partie, surtout pour la première couche, en pierres cassées provenant des déblais.

Pour la voie nous avons supposé des rails en acier de 8 m. de longueur reposant sur 9 traverses en chêne, sur chacune desquelles on placerait deux selles en acier. Nous supposons le profil A du rail Vignole de la Compagnie P.-L.-M. (ce dernier pèse 33 kg. le mètre courant), mais avec une âme plus forte et un patin plus large, c'est pourquoi nous avons admis 38 kg. le mètre courant au lieu de 33 kg. Nous avons compté les rails à 270 fr. la tonne pour tenir compte du transport et des droits d'entrée en Italie qui sont de 30 fr. la tonne. (Actuellement ces rails reviennent, en Suisse, à 180 fr. la tonne, prix moyen.) Les prix du petit matériel, selles, éclisses, boulons, crampons, ont été calculés sur la même base. Nous croyons avoir ainsi suffisamment tenu compte de la hausse qui pourrait, cas échéant, se présenter jusqu'à l'époque de la construction. Les traverses en chêne, de 2^m75 de longueur, 0^m22 de largeur et 0^m15 d'épaisseur, ont été comptées à 8 fr. la pièce rendues à pied d'œuvre. Il résulte de ces données un prix de 36 francs par mètre courant de voie.

Pour les bâtiments et autres installations des gares, nous nous sommes basés sur les prix de revient de constructions analogues exécutées ces dernières années sur le réseau de la Suisse-Occidentale. Il a été ajouté à toutes ces estimations le 10 % environ pour

imprévu. Nous donnons ci-après le résumé de ces devis, renvoyant pour les détails aux devis eux-mêmes qui figurent aux annexes.

Toutes ces estimations se rapportent à une ligne complètement achevée et outillée pour la double voie.

Nous avons cherché à nous rendre compte quelle serait la dépense si l'on voulait établir cette ligne, comme celle du Gothard, c'est-à-dire, à simple voie, mais de manière à ce qu'on puisse plus tard, si le trafic s'accroît, établir la double voie sans frais frustratoires. Par exemple les tunnels seraient faits de façon à pouvoir être élargis, sans démolir des revêtements, comme l'avaient proposé en 1878, au Gothard, MM. Pressel et Kaufmann. Nous savons maintenant, par l'expérience acquise au Gothard dans l'application de ces profils réduits, qu'on a pu réaliser une économie évaluée en moyenne à 200 fr. environ par mètre de tunnel.

Tous les ouvrages d'art qui ne pourraient être modifiés seraient faits d'emblée pour la double voie, les viaducs métalliques auraient leurs piles et culées pour double voie, les tabliers seuls seraient à une voie et pourraient être doublés; tous les murs de soutènement seraient établis à l'emplacement de la double voie, et avec des dimensions permettant leur surhaussement; les expropriations seraient partout faites pour la double voie. Sachant à combien se sont élevées, au Gothard, ces économies ou ajournements de dépenses, nous pouvons les estimer ici par analogie, les conditions se rapprochant de celles des lignes d'accès du Gothard. Nous supposons néanmoins la double voie posée dans le grand tunnel, c'est-à-dire sur tout le parcours de Brigue à Iselle.

Le total de ces *économies* ou dépenses ajournées s'élèverait à 5 800 000 fr., et la dépense totale serait alors de 23 700 000 fr. ou de 754 436 fr. par kilomètre.

Résumé du devis estimatif de la rampe sud, d'Iselle à Piedimulera.

Tracé N° 1, longueur : 31^k539^m60.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES	SOMMES		Prix moyen par kilomètre de la ligne
	PARTIELLES	TOTALES	
	Francs	Francs	Francs
1° Frais généraux et direction des travaux . .	—	789 000	25 016
2° Expropriations	—	734 500	23 288
3° Infrastructure :			
a) Terrassements proprement dits	3 009 000		95 404
b) Murs de revêtement et de soutènement	4 249 000		134 720
c) Tunnels	9 386 000		297 594
d) Ouvrages d'art, viaducs, aqueducs, ponceaux, ponts, etc.	4 151 500		131 628
e) Travaux d'endiguement ou de correction . . .	115 000		3 646
f) Chemins et routes déviés, routes d'accès des gares	143 500		4 550
<i>Total pour l'infrastructure</i>		21 054 000	667 542
4° Superstructure :			
a) Ballastage des voies et des gares	432 000		13 697
b) Voies proprement dites	2 444 500		77 506
c) Passages à niveau	14 000		444
d) Ligne télégraphique	34 500		1 094
e) Installations, accessoires de la voie, etc. . . .	5 500		174
<i>Total pour la superstructure</i>		2 930 500	92 915
5° Stations, ateliers, maisons de gardes . . .	—	222 500	7 055
6° Clôtures et plantations	—	54 000	1 712
7° Matériel fixe	—	72 000	2 283
8° Matériel roulant	—	947 000	30 026
9° Outillage	—	17 000	539
10° Mobilier	—	9 500	301
		26 830 000	850 677
Somme à valoir pour imprévu, 10 % environ . .	—	2 670 000	84 655
<i>Total général</i>	—	29 500 000	935 332

**2. Tracé sur la rive gauche de la Diveria, avec déclivité de 13 ‰
et développement dans le val Antigorio, se raccordant à Domo d'Ossola.**

Nous avons déjà dit au chapitre I^{er} que l'idée d'utiliser la vallée d'Antigorio pour le développement du tracé avait été émise tout d'abord par M. Clo en 1874. Il présenta sur cette base un avant-projet, avec une rampe de 15 ‰. En 1875, la compagnie du Simplon fit examiner cette solution par M. L. Favre, entrepreneur du tunnel du Gothard; celui-ci la préconisa fort et présenta un avant-projet presque identique à celui de M. Clo.

Dès lors on fut amené à l'idée d'adopter la même solution pour diminuer la rampe, en augmentant le développement et en pénétrant plus en avant dans la vallée. En juin 1884, à l'occasion du passage de la commission parlementaire, nous avons fait jalonner sur le terrain les principaux points de passage d'un tracé conçu dans cette hypothèse et à rampes de 13,5 ‰. Plus tard nous avons fait faire, dans la vallée de la Diveria, tous les levés pour l'étude de la ligne suivant cette direction générale, mais avec une pente de 12,5 ‰, comme celle de la rive droite. Dans le val Antigorio nous avons pu faire tracer le polygone ou ligne d'opération et fait faire le nivellement des repères. Ces données suffisent pour l'examen d'une solution qui a d'ailleurs peu de chances d'être adoptée.

L'examen sur le terrain montre que, depuis Domo, il faut renoncer à l'idée émise dans les projets Clo et Favre de suivre la route du Simplon jusqu'au-dessous de Crevola pour traverser successivement la Diveria et la Toce; on aurait ou un développement perdu ou des remblais et viaducs considérables ainsi que des travaux de défense très importants. Il faut au contraire traverser la Toce en face de Domo d'Ossola, en modifiant l'emplacement de la gare, pour atteindre le plus vite possible les coteaux de la rive gauche près de Masera.

Nous avons reconnu aussi qu'il est difficile de faire descendre la rampe jusqu'au 12,5 ‰ et que son minimum devait être de 13 ‰. Si, comme cela est nécessaire, la rampe commençait depuis Domo, on aurait des remblais très considérables et un viaduc très élevé, à la traversée de la vallée de la Toce; en outre, la pente naturelle des coteaux au-dessous de Masera est de 13 à 14 ‰. Si l'on voulait descendre au-dessous de 13 ‰, on serait obligé d'entamer assez profondément les cônes de déjection, ce qui présenterait des difficultés; enfin la pente de 12,5 ‰ nous porte trop bas, au point où l'on doit traverser de nouveau la Toce (près de Vegno, en dessous de Crodo), pour faire cette traversée convenablement. Ces diverses raisons nous ont amené à adopter la rampe de 13 ‰.

Le passage de la Toce vis-à-vis de Domo exigerait un viaduc de 180 m. de longueur

et 10 m. de hauteur, avec fondations difficiles. On aurait ensuite à traverser, par deux autres viaducs, la Melezza qui sort du val Vigezzo et l'Isorno. A partir de ce point où l'on entre dans le val Antigorio on suivrait la rive gauche de la Toce, coupant plusieurs contreforts par de petits tunnels ou de fortes tranchées, traversant les ravins par des viaducs. On traverserait cette vallée par deux tunnels et un viaduc en courbe de 500 m. de rayon près de Vegno, en dessous de Crodo, à l'altitude de 411 m., à une distance de 12 km. de Domo et de 17 km. de la tête du grand tunnel, et on reviendrait vers le sud en remontant le flanc escarpé de la rive droite, où se trouvent de nombreux éboulis des parois de rochers abruptes dans le gneiss compacte, nécessitant beaucoup de murs de soutènement et de tunnels. Entre Crevola et Campelia on tournerait, avec une courbe de 500 m., en partie en tunnel, l'extrémité du contrefort de la Colma qui sépare les deux vallées d'Antigorio et de la Diveria, pour se porter sur la rive gauche de cette dernière. A partir de ce point vers Morgantini (km. 33,200 m.) on suivrait la rive gauche de la Diveria. sur une longueur de 7200 m., jusque vers Riceno où l'on se trouverait à une assez grande hauteur au-dessus du thalweg, et dans des parois abruptes et déchirées qui nécessiteraient de nombreux tunnels, murs et galeries et où l'établissement de la ligne serait très coûteux. A partir de Riceno (km. 28) on traverserait les coteaux cultivés de Varzo sur une longueur de 2600 m. Cette traversée serait moins coûteuse d'établissement, mais assez coûteuse d'expropriation. Au km. 25 on traverserait la Cherasca par un viaduc.

Sur les 2750 m., depuis le km. 25 jusqu'au tunnel on serait de nouveau en partie dans les coteaux abrupts nécessitant quelques tunnels; cette partie serait toutefois moins difficile que celle du km. 28 à 33,200 m., parce qu'elle est plus près du thalweg. La longueur à construire depuis la tête du tunnel à la gare de Domo d'Ossola serait de 29 km. Si l'on y ajoute les 9 km. 920 m. de Domo à la jonction à Piedimulera, nous aurions pour ce parcours total 38 km. 920 m. Le tracé à 12,5 ‰, par la rive droite a 34 km. 539 m.

Nous aurions donc un allongement de parcours de 7 km. 384 m. Cet allongement serait même de 14 km. 7 m., si l'on tient compte des distances virtuelles ou majorées.

Voici les conditions principales du profil en long de cette ligne :

	Positions kilométriques. km. m.	Altitudes. m.	Pentes et rampes. m.	km. m.	Hauteur rachetée. m.
Tête du grand tunnel	22 243 (de Brigue)	627,83	Pente de 0,013 sur 4	= 52	
Gare de Varzo	26 243	575,83	Pente de 0,0025 sur 0,400	= 1	
	26 643	574,83	Pente de 0,013 sur 12,557	= 163,24	
Passage de la Toce sous Crodo	39 200	411,59	Pente de 0,013 sur 2,400	= 31,20	
Gare de Pontemanlio, Crodo	41 600	380,39	Pente de 0,0025 sur 0,400	= 1	
	42 000	379,39	Pente de 0,013 sur 5,600	= 72,80	
Gare de Masera	47 600	306,59	Pente de 0,0025 sur 0,300	= 0,75	
	47 900	305,84	Pente de 0,013 sur 2,800	= 36,40	
Gare de Domo	50 700	269,44	Pente de 0,001 sur 0,543	= 0,56	
	51 243	268,88			
Longueur de la voie (51 ^{km} .243 — 22 ^{km} .243) = 29 km. Dénivellation . . .					<u>358,95</u>

Comme on le voit ci-dessus nous aurions trois gares intermédiaires : une à Varzo, une entre Pontemanlio et Crodo, pour desservir le val Antigorio, et une à Masera desservant les nombreux villages qui sont désignés sous ce nom commun. Cette dernière se trouverait au débouché du val Vigezzo, et desservirait aussi Crevola, qui n'en serait distante que de 3 1/2 km. La position de la gare de Domo devrait être un peu changée et rapprochée de la Toce.

Devis. — En procédant par assimilation avec le tracé de la rive droite, nous avons pu grouper la ligne en différentes sections suivant le plus ou moins de difficultés et déterminer très approximativement le coût kilométrique de chacune de ces sections.

	Longueur. Mètres.	Coût kilométrique. Francs.	Total. Francs.
1° De la tête sud du tunnel à la Cherasca	2,750	950 000	3 612 500
2° De la Cherasca à Riceno, soit la traversée du plateau de Varzo	2,850	700 000	1 995 000
3° De Riceno à Morgantini, parois de rochers abrupts	6,200	1 200 000	7 440 000
4° De Morgantini au passage de la Toce (rive droite du val Antigorio)	5,600	1000 000	5 600 000
5° De la Toce à Castelluccio (rive gauche du val Antigorio)	5,600	750 000	4 200 000
6° De Castelluccio à Domo	6,000	600 000	3 600 000
	<u>29,000</u>		<u>26 447 500</u>
Moyenne par kilomètre		<u>911 983</u>	

Si l'on appliquait à cette ligne la réduction à une voie que nous avons indiquée pour le premier tracé, l'économie ou l'ajournement de dépenses serait de 4 100 000 francs réduisant la dépense totale à 22 347 500 fr. ou 770 603 fr. par kilomètre.

L'aménagement de la gare de raccordement de Domo n'est pas compris dans cette somme; il est évalué à 900 000 fr. qu'il faut ajouter.

Nous avons vu que le coût du tracé rive droite à 0,0125 s'élèverait à 29 500 000 fr., soit une différence en faveur de celui-ci de 3 052 500 fr.

Nous estimons que cette différence n'est pas suffisante, surtout si on la rapporte à la dépense totale (y compris le grand tunnel et l'accès nord) de 104 200 000 fr. soit à peine 3 % pour justifier un allongement de 7,4 km. en distance absolue ou de 14,7 kilomètres en distance virtuelle et une déclivité plus forte de 0,5 mm. Ce sont ces raisons qui, ajoutées au manque de temps, nous ont décidés à ne pas étudier un projet complet pour cette ligne.

S'il paraît utile de le faire, les éléments que nous avons nous permettront de terminer l'étude assez rapidement.

3. Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 18 ‰ et développement hélicoïdal, se raccordant à Villa d'Ossola.

Le point de départ de ce tracé est le même que pour le précédent. La ligne suit la rive droite de la Diveria jusqu'au km. 33 (de Brigue) vis-à-vis de Morgantini, en se rapprochant du thalweg.

Au km. 33 commence un développement hélicoïdal de 2820 m. sous le mont de Bosco. Celui-ci, tracé avec un rayon de 450 m., se compose de trois tunnels, le premier de 330 m., d'une partie à ciel ouvert de 345 m. de longueur et d'un plus grand tunnel de 2030 m. Ce dernier tunnel peut être attaqué latéralement vers ses extrémités. Dans ce développement la rampe est réduite de 0^m018 à 0^m016 soit de 2 ‰. Après une partie à ciel ouvert de 195 m., on rencontre de nouveau un tunnel de 455 m. et peu après, au km. 37, on a ménagé un palier pour la station de Crevola-Preglia, qui se trouverait située au-dessus du village de Preglia.

Le tracé, toujours à flanc de coteau, passe au-dessus du village de Caddo et au-dessous de celui de Mocogna. Immédiatement après et vers le km. 40, il traverse, par un pont métallique à 3 travées de 30 m. la rivière la Bogna, au point où elle sort de la vallée resserrée de Bognanco. Un peu avant le km. 41, au-dessous du village de Vagna, on atteint le palier qui a été aménagé pour la gare de Domo d'Ossola à l'altitude de 320^m50 (soit 40 m. au-dessus de la ville) et l'on contourne le mamelon du calvaire de Domo. On rencontre près du km. 42, à la traversée du ravin formé par le ruisseau Dei Cavalli, près de la caserne des chasseurs des Alpes, un viaduc assez important de 10 arches de 15 m. et près du km. 43 un viaduc de 35 m. pour traverser le ruisseau de Sordaz. A partir de ce point le tracé suit le bas des coteaux sans grandes difficultés. Les expropriations néanmoins seront plus coûteuses que pour le tracé N° 1, parce qu'on traverse plus de terrains cultivés et qu'on passe plus près des habitations. A Villa d'Ossola, on se raccorde par

une double courbe de 350 m. de rayon, près du pont de l'Ovesca, avec le tracé de la ligne du fond de la vallée. La longueur totale depuis la tête sud du tunnel est de 25 km. 216^m19 soit 47 km, 459^m84 depuis la gare actuelle de Brigue.

La distance de l'axe de la gare de Brigue à celle de Villa d'Ossola, située au delà du raccordement de l'autre côté de l'Ovesca, serait de 48 km. 021^m64. La distance de l'axe de la gare de Villa à celle de Gozzano, d'après le tracé de M. l'ingénieur Mugnaini, est de 47 km. 479 m. et la distance de Villa au raccordement près d'Arona, d'après le tracé de M. l'ingénieur Pensa est de 51 km. 997^m 90.

a) *Tracé, alignements et courbes.*

69 alignements mesurent 11 116^m59 soit 44,1 % de la longueur totale

69 courbes	»	14 099 ^m 60	»	55,9	»
		<u>25 216^m19</u>		<u>100</u>	<u>%</u>

Ces courbes se répartissent comme suit :

	Rayon. Mètres.	Développement. Mètres.	Proportion à la longueur totale. %
13 courbes de 300	300	1879,77	7,5
2 » 320	320	382,48	1,5
1 » 340	340	774,25	3,1
23 » 350	350	3656,70	14,5
7 » 400	400	807,55	3,2
5 » 450	450	4040,33	16 —
13 » 500	500	1197,88	4,8
2 » 600	600	637,57	2,5
1 » 700	700	349,21	1,3
1 » 750	750	331,68	1,3
1 » 2000	2000	42,18	0,2
<u>69</u> »		<u>14099^m60</u>	<u>55,9</u>

b) *Profil en long, paliers, pentes et rampes.*

	Mètres.	
Paliers : 1 de 474,78	gare d'Iselle.	
» 1 de 404,45	» de Crevola.	
» 1 de 400,00	» de Domo.	
<u>3 de 1279,23</u>	1279,23	
Pentes : 1 de 0,008	41,14	
» 1 de 0,010	6418,05	
» 1 de 0,016	3400,00	
» 1 de 0,016435	460,00	
» 2 de 0,018	13617,77	
	<u>25216^m19</u>	

c) *Tunnels.*

Les tunnels sont au nombre de 10, mesurant en totalité 4295 m., soit le 17 % de la longueur totale. Le plus court a 15 m. et le plus long 2030 m.

d) *Viaducs.*

Les ponts et viaducs sont au nombre de 12, mesurant une longueur totale de 875 m. Le plus long, celui du ruisseau Dei Cavalli, mesure 175 m.

e) *Gares et stations.*

Celles-ci sont, comme nous l'avons vu dans la description générale, au nombre de trois. Celle d'Iselle est commune ou identique à celle du tracé N° 1 à 0,0125. Celle de Crevola-Preglia sera à la cote d'altitude 404^m45 et au-dessus du village de ce dernier nom ; il faudra une route d'accès d'un kilomètre environ. Celle de Domo sera à la cote d'altitude 320^m42, soit à 40^m au-dessus de la ville, et se trouvera au-dessous du hameau de Vagna. Il faudra établir une route d'accès de 350 m. de longueur depuis la route de la vallée de Bognanco ; cette gare sera distante de 1100 m. du centre de la ville de Domo et placée plus avantageusement que suivant le N° 1.

f) *Devis estimatif.*

Le devis est établi par assimilation avec celui du tracé N° 1. Il y a avec le tracé N° 1, à déclivité de 0,0125, une différence en moins de 7200 000 fr.

L'aménagement de la gare de raccordement à Villa n'est pas compté dans le chiffre ci-dessus, il faut l'évaluer à 900 000 fr. qui sont à ajouter.

Comme pour le tracé N° 1, nous avons calculé l'économie ou plutôt l'ajournement de dépense qui résulterait de la construction d'une voie unique susceptible d'élargissement. Elle serait de 3 500 000 fr., ce qui réduirait la dépense à 18 800 000 fr.

Devis estimatif du tracé N° 3. Longueur km. 25,216^m19.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES	SOMMES		Moyenne par km.
	PARTIELLES	TOTALES	
	Francs	Francs	Francs
1° Frais généraux , administration et direction des travaux		631 000	25 024
2° Expropriations		756 500	30 000
3° Infrastructure.			
a) Terrassements	3 300 000		130 868
b) Murs de soutènement et de revêtement	4 350 000		172 508
c) Tunnels (4295 ^m × 970 fr. 93)	4 170 000		165 369
d) Ouvrages d'art, viaducs, ponts, ponceaux, aqueducs	3 180 000		126 109
e) Chemins et routes déviés, chemins d'accès des gares	141 000		5 593
f) Travaux de défense et de correction de cours d'eau	150 000		5 949
<i>Total pour l'infrastructure</i>		15 291 000	606 396
4° Superstructure.			
a) Ballastage des voies	345 500		13 702
b) Voie de fer et accessoires	2 045 000		81 099
c) Passage à niveau	11 500		456
d) Ligne télégraphique	28 000		1 110
e) Installations accessoires de la voie	4 500		178
<i>Total pour la superstructure</i>		2 434 500	96 545
5° Bâtiments des stations , dépôts et maisons de garde		250 000	9 914
6° Clôtures et plantations		43 500	1 725
7° Matériel fixe		75 000	2 974
8° Matériel roulant		756 500	30 001
9° Outillage		14 000	555
10° Mobilier des gares		9 000	357
<i>Totaux</i>		20 261 000	803 491
11° Sommes à valoir pour imprévu et pour arrondir		2 039 000	80 860
<i>Total général</i>		22 300 000	884 351

4. Tracé sur la rive droite de la Diveria, avec déclivité de 20 ‰, se raccordant à Villa d'Ossola.

Ce tracé n'a pas été étudié en détail et ne figure pas sur nos cartes. Il suit en général la direction de notre tracé N° 3 à pente de 0,018, avec la seule différence qu'il est plus près du thalweg jusqu'à Preglia et n'a pas, comme le tracé N° 3, de développement hélicoïdal sous la colline de Bosco. A partir de Crevola, il serre d'assez près ce dernier tracé. La gare d'Iselle-Varzo est la même que dans les tracés N°s 1 et 3. La gare de Crevola est à l'altitude 401^m80, à peu près dans la même situation que celle du tracé N° 3, mais 20^m80 plus haut. La gare de Domo d'Ossola se trouverait à la cote 334^m40 au-dessous du village de Vagna et à 14 mètres plus élevée que celle du tracé N° 3. Le raccordement à Villa d'Ossola se ferait au même point, la pente de Domo à Villa étant de 0,0125.

La longueur totale de cette ligne serait de 22 km. 570 m. depuis la tête sud du grand tunnel ou 44 km. 813 m. depuis l'origine à Brigue jusqu'à Villa d'Ossola. La distance de Villa à Gozzano, de 47 km. 479 m. et à Arona, de 51 km. 998 m., sont les mêmes que pour le tracé N° 3.

Comme *devis* ce tracé se trouverait dans les mêmes conditions que le tracé N° 3, mais avec 2300 m. environ de développement de tunnel en moins et l'on arriverait à une dépense de 17 300 000 fr., soit 766 504 fr. par kilomètre. La gare de raccordement à Villa n'est pas comprise. Il faudrait ajouter de ce chef 900 000 fr.

L'économie ou ajournement de dépense à réaliser en exécutant à simple voie, avec rélargissement réservé, serait de 3 100 000 fr., ce qui ramènerait la dépense à 14 200 000 francs.

5. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 20 ‰ et développement hélicoïdal, se raccordant à Domo d'Ossola.

Ce tracé a pour origine la tête sud du grand tunnel déjà décrite. Il diffère de ceux que nous venons d'examiner en ce qu'il suit, jusqu'à Crevola, la rive gauche de la Diveria, en passant dans le coteau de Varzo. Au 26 km. 580, sous le cimetière de Varzo, se trouverait le palier de la gare commune pour Iselle et Varzo. Depuis le km. 28 (Riceno) jusque vers le km. 34 (Morgantini) il se trouve au pied des escarpements de rocher à une hauteur de 50 à 70 m. au-dessus de la route du Simplon. Au km. 34 (Morgantini) commence le développement hélicoïdal, d'une longueur de 2200 m. Celui-ci se compose d'un tunnel de 490 m. suivi d'une partie à ciel ouvert de 400 m. et d'un second tunnel de 1670 m. de longueur, mais ce dernier se trouve seulement sur une longueur de 1310

mètres dans le développement hélicoïdal en courbe de 350 m.; la partie inférieure sur 360 m. est en ligne droite. Dans ce développement hélicoïdal la rampe est réduite de 0^m020 à 0^m016. Ce tunnel hélicoïdal sera d'une construction facile, il pourra être attaqué sur plusieurs points par des fenêtres latérales, donnant sur les versants soit de la vallée de la Diveria soit de celle d'Antigorio; l'une de ces attaques, au-dessus du village de Crevola et de la route de la vallée d'Antigorio, n'aurait pas 40 m. de profondeur.

Immédiatement en sortant de ce dernier tunnel, le tracé franchirait la gorge de la Diveria dans sa partie la plus étroite, par un pont métallique avec une travée de 60 m. de portée, et après avoir traversé un petit tunnel de 50 m. il se trouverait à l'emplacement choisi pour la station de Crevola-Preglia au km. 36,650 et à l'altitude de 363^m48, au-dessus des maisons voisines du grand pont de la route du Simplon. Il suit le pied des coteaux de Preglia et d'Almona. Vers le km. 40, au-dessous de Caddo, il traverse la Bogna par un pont à trois travées de 30 m. Vers le km. 41, il traverse la route du Simplon, et au km. 42 on aurait la gare de Domo qui se trouverait à côté de l'emplacement des terrassements actuels. Au km. 42,435 on se raccorderait complètement avec les travaux exécutés par l'ancienne compagnie de la ligne d'Italie.

La longueur totale de cette ligne est, depuis la tête sud du grand tunnel, de 20 km. 191^m61, soit depuis Brigue (axe du bâtiment aux voyageurs) 42 km. 435^m16. La distance d'axe en axe des gares de Brigue à Domo serait de 41 km. 895 m. La distance de l'axe de la gare de Domo à celle de Gozzano serait de 53 km. 654^m26, d'après le tracé de M. l'ingénieur Mugnaini et au raccordement d'Arona, d'après le tracé de M. l'ingénieur Pensa de 58 km. 173^m.

a) *Tracé, alignements et courbes.*

Nous avons :

46 alignements mesurant au total	9 km. 126 ^m 53	soit	45,2 %	du total.
47 courbes	»	11	» 065 ^m 08	» 54,8 »
Longueur totale de la ligne	<u>20 km. 191^m61</u>	»	<u>100 %</u>	»

Les courbes se décomposent comme suit :

	Rayon. Mètres.	Développement. Mètres.	Proportion % de la Longueur totale.
1 courbe de 280		138,09	0,7
19 » 300		4,154,14	20,5
11 » 350		3,675,42	18,2
6 » 400		1,607,86	8,0
5 » 500		770,22	3,8
5 » 1000		719,35	3,6
<u>47</u>	Total, km.	<u>11,065,08</u>	<u>54,8</u>

b) *Profil en long, paliers, pentes et rampes.*

		Mètres.
Paliers : 1 à Varzo	500,00	1,300
» 1 à Crevola	400,00	
» 1 à Domo	400,00	
Pentes : 1 de 0,016	2662,50	18,600
» 1 de 0,019	2950	
» 3 de 0,020	12987,50	
» 1 de 0,0125 à l'aval de Domo et jusqu'au raccordement . .	291,61	
Longueur totale de la ligne, km.		<u>20,191^m61</u>

c) *Tunnels.*

Les tunnels sont au nombre de 10, mesurant ensemble une longueur de 2620 m. soit le 12,97 % de la longueur totale de la ligne. Le plus long tunnel, celui de Crevola, a 1670 m. et le plus court 20 m.

d) *Viaducs.*

Les viaducs sont au nombre de 12 mesurant ensemble une longueur de 489^m, soit 2,42 % de la longueur totale de la ligne.

e) *Gares et stations.*

Les gares seraient au nombre de 3 :

celle commune à Iselle et Varzo, au kilomètre 26,580 (de Brigue), sous le cimetière de Varzo, à l'altitude 547^m83, avec un palier de 500 m. de longueur;

celle de Crevola, avec un palier de 400 m. de longueur, située au-dessus des maisons du pont, km. 36,650, altitude 363^m48, soit à 29 m. au-dessus de la route du Simplon, au pont de Crevola. On y arriverait par une route d'accès de 600 m.

La gare de Domo, au kilomètre 41,895, altitude 269^m43, longueur du palier 400 m., se trouverait tout près de l'emplacement qui avait été aménagé par l'ancienne compagnie d'Italie. On ne peut prendre exactement le même emplacement à cause de la difficulté de raccordement provenant de la proximité du cône de déjection de la Bogna.

f) *Devis estimatif.*

Le devis, établi par assimilation avec le devis détaillé du N° 1, est résumé dans le tableau ci-contre. Il accuse une dépense totale de 17 550 000 fr., soit par rapport au tracé N° 1, à déclivité de 0,0125, une différence en moins de 11 950 000 francs.

L'aménagement de la gare de raccordement de Domo n'est pas compté; il faut l'évaluer à 900 000 fr. à ajouter.

Si l'on voulait appliquer à ce tracé l'économie résultant de la construction de la simple voie pouvant plus tard être doublée, elle serait de 2 800 000 fr., ce qui réduirait la dépense pour ce tracé à 14 750 000 fr.

Devis estimatif du tracé N° 5. Longueur km. 20,161^m61.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES	SOMMES		Moyenne par km.
	PARTIELLES	TOTALES	
	Francs	Francs	
1° Frais généraux, études, direction des travaux.		525 000	26 001
2° Expropriations.		707 000	35 014
3° Infrastructure.			
a) Terrassements	3 000 000		148 576
b) Murs de soutènement et revêtement	3 800 000		188 197
c) Tunnels (2620 ^m × 970 fr. 93)	2 550 000		126 290
d) Ouvrages d'art, viaducs, ponts, ponceaux et aqueducs	1 880 000		93 108
e) Chemins d'accès et routes déviées	120 000		5 943
f) Travaux de correction et d'endiguement	150 000		7 429
<i>Total pour l'infrastructure</i>		11 500 000	569 543
4° Superstructure.			
a) Ballastage des voies	280 000		13 867
b) Voies et accessoires	1 650 000		81 717
c) Passages à niveau	15 000		743
d) Ligne télégraphique	22 500		1 114
e) Installations accessoires de la voie	4 000		198
<i>Total pour la superstructure</i>		1 971 500	97 639
5° Bâtiments des stations, dépôts et maisons de garde		250 000	12 381
6° Clôtures et plantations		35 000	1 733
7° Matériel fixe.		75 000	3 714
8° Matériel roulant		606 500	10 037
9° Outillage		11 000	545
10° Mobilier des gares		9 000	446
<i>Totaux</i>		15 690 000	777 055
11° Somme à valoir pour imprévu		1 860 000	92 117
<i>Total général</i>		17 550 000	869 172

6. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 20 ‰ sans développement hélicoïdal, se raccordant à Villa d'Ossola.

Ce tracé est identique avec le précédent, N° 5, jusqu'au kilomètre 33,500, à Morgantini, c'est-à-dire jusqu'au point où celui-ci entre dans le développement hélicoïdal ; tandis que le N° 6 franchit la Diveria un peu en amont du N° 5 et par un viaduc, avec une travée centrale en tôle de 60 m., et 3 arches de 15 m. Le viaduc est à l'altitude de 400 mètres au point où la gorge est très resserrée. La station de Crevola se trouve, dans ce tracé, à l'altitude de 396^m63. A partir de ce point, ce tracé suit d'assez près la direction du tracé N° 3, à 0^m018 de pente, le recoupant de temps en temps. Il traverse la Bogna au même point que le N° 3. La gare de Domo d'Ossola est aussi située au-dessous du village de Vagna et à l'altitude de 320^m42. De Domo à Villa, le tracé est identique au N° 3. Sa longueur totale de Brigue à Villa d'Ossola est de 45 km. 625^m55, soit depuis la tête sud du grand tunnel 23 km. 381^m90.

a) Tracé, alignements et courbes.

Ce tracé présente :

69 alignements mesurant km.	10,435 ^m 03	soit le	44,6 ‰	de la longueur totale.
69 courbes	»	»	12,946 ^m 87	» 55,4 ‰ »
	»	»	23,381 ^m 90	» 100 ‰

Les courbes se répartissent comme suit :

	Rayons.	Développement.	Proportion à la long ^r totale.
1 courbe de	280 m.	138 ^m 09	0,6
24 »	300 »	4826 ^m 51	20,6
2 »	320 »	382 ^m 48	1,6
1 »	340 »	774 ^m 25	3,3
16 »	350 »	2796 ^m 62	12,0
8 »	400 »	1695 ^m 99	7,3
11 »	500 »	1341 ^m 38	5,7
1 »	600 »	466 ^m 99	2,0
5 »	1000 »	524 ^m 56	2,3
<u>69</u>		<u>km. 12,946^m87</u>	<u>55,4</u>

b) *Profil en long, paliers, pentes et rampes.*

1	palier de 500 m. pour la gare de Varzo	
1	» 400 » » Crevola	
1	» 400 » » Domo	
	<u>1300</u>	1300 ^m
1	pente de 0,010 —	6418,05
1	» 0,01857 —	4103,85
2	» 0,020 —	11560,00
	km. <u>22,081,90</u>	<u>22,081^m90</u>
	Longueur totale de la ligne, km.	<u>23,381^m90</u>

c) *Tunnels.*

Les tunnels sont au nombre de 8, mesurant ensemble une longueur totale de 670 m., soit 2,87 % de la longueur totale. Le plus long a 160 m., le plus court 50 m.

d) *Viaducs.*

Les viaducs sont au nombre de 12, mesurant ensemble une longueur de 681 m., soit 2,91 % de la longueur totale. Le plus long, celui de la Diveria à Crevola, a 174 m.; le plus court, 26 mètres.

e) *Gares et stations.*

Les gares de Varzo et de Domo sont identiques, la première à celle du tracé N° 5, et la seconde à celle du tracé N° 3. La gare de Crevola est un peu plus élevée, soit à la cote 396^m65 au lieu de 363^m48, que celle du tracé N° 5 et nécessitera un chemin d'accès plus long, soit de 1400 mètres de longueur.

f) *Devis estimatif.*

Le devis, figuré dans le tableau à page 88, est établi sur les mêmes bases que les N° 3 et 5; il accuse une dépense totale de 17 170 000 fr. L'ajournement de la double voie produirait une économie de 3 200 000 fr., réduisant la dépense totale à 13 970 000 fr. L'aménagement de la gare de Villa n'est pas compris dans les chiffres précédents; il reviendrait comme pour le tracé à 18 ‰ à 900 000 fr.

Devis estimatif du tracé N° 6, Longueur km. 23,381^m90.

DÉSIGNATION DES CHAPITRES	SOMMES		Moyenne par km.
	PARTIELLES	TOTALES	
	Francs	Francs	Francs
1° Frais généraux, administration, étude, direction des travaux		585 000	25 019
2° Expropriations		820 000	35 070
3° Infrastructure.			
a) Terrassements	3 300 000		141 135
b) Murs de soutènement	4 600 000		196 733
c) Tunnels (681 ^m × 970 fr. 93)	665 000		28 440
d) Ouvrages d'art, viaducs, ponts, ponceaux, aqueducs	1 760 000		75 272
e) Chemins et routes	160 000		6 843
f) Travaux de défense	150 000		6 415
<i>Total pour l'infrastructure</i>		10 635 000	454 838
4° Superstructure.			
a) Ballastage	325 000		13 900
b) Voie et accessoires.	1 900 000		81 259
c) Passage à niveau	15 000		642
d) Ligne télégraphique	26 000		1 112
e) Installations accessoires de la voie	4 500		192
<i>Total pour la superstructure</i>		2 270 500	97 105
5° Bâtiments des stations, dépôts, maisons de garde		250 000	10 692
6° Clôtures et plantations		50 000	2 138
7° Matériel fixe		75 000	3 208
8° Matériel roulant		701 500	30 002
9° Outillage		13 000	556
10° Mobilier des gares		9 000	385
<i>Totaux</i>		15 409 000	659 013
12° Somme à valoir pour imprévu		1 761 000	75 315
<i>Total général</i>		17 170 000	734 328

**7. Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 22 ‰
se raccordant près de Domo d'Ossola.**

Ce tracé n'a pas été étudié en détail. Il part d'Iselle-Varzo comme tous les autres tracés de la rive droite, soit les N^{os} 1, 3 et 4. Dans la vallée de la Diveria, il se rapproche beaucoup du tracé N^o 4, mais il est plus bas. Il prévoit une gare pour Crevola, qui se trouverait au-dessus de Preglia, à l'altitude de 380 m., et enfin la gare de Domo serait située près du cimetière, à l'altitude de 282 m. On n'a pas assez de développement pour se raccorder à la gare prévue dans le projet primitif qui est à 12 m. plus bas. Au delà de la gare de Domo d'Ossola, la pente de 0^m022 continue sur 1 km. jusqu'au point de raccordement avec les travaux exécutés par l'ancienne compagnie, point qui est situé à 320 m. au delà du passage à niveau de la route du Simplon et à la cote d'altitude de 259^m37. La longueur totale de ce tracé est de 17 km. 817 m. La distance du point de raccordement à Gozzano (projet de M. Mugnaini) est de 52 km. 569 m. et au raccordement près d'Arona (projet de M. Pensa) est de 57 km. 088 m., soit de Brigue à Gozzano 92 km. 629 m. et de Brigue à Arona 97 km. 148 m.

Comme devis, il faut admettre 800 000 fr. par kilomètre, plus une somme de 800 000 francs pour la gare de Domo d'Ossola, soit en tout 15 100 000 francs. Il faudrait y ajouter 900 000 fr. pour la gare de raccordement à Villa, soit 16 000 000 de francs.

L'économie qu'on pourrait réaliser par l'ajournement de la double voie serait de 2 200 000 fr.

Le point faible de ce tracé, c'est de comporter des fortes pentes à l'aval de Domo.

**8. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité
de 22 ‰ se raccordant à Domo d'Ossola.**

Ce tracé est celui que M. Lommel a figuré sur la seconde édition chromo-lithographique du projet de 1878, par l'indication de l'axe. La tête sud du tunnel se rapproche beaucoup de la nôtre, elle débouche également dans le ravin de la Fontaine, à l'aval d'Iselle et à la cote 629. Nous supposons que le grand tunnel et la ligne d'accès nord sont identiques aux nôtres.

Cette ligne aurait une longueur de 39 km. 464^m65 de Brigue à Domo. La longueur, de la tête sud du tunnel à Domo, serait de 17 km. 221 m.

De Brigue à Gozzano km. 53 722 m.

» à Arona (raccordement) . . » 58 240^m92.

Comme coût, il peut être assimilé au N^o 6, et évalué à 750 000 fr. par kilomètre, ce qui donnerait 13 600 000 fr. Si l'on veut y comprendre la gare de raccordement de

Domo que nous n'avons pas comptée, il faut porter 900 000 fr. de ce chef, ce qui donnerait $14\frac{1}{2}$ millions.

L'ajournement de la double voie peut être évalué à 2 millions.

9. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 23,7 ‰ se raccordant à Domo d'Ossola.

Ce tracé, déjà décrit au chapitre I, est celui que la compagnie du Simplon a présenté en 1878, et dont les plans ont figuré la même année à l'exposition. Nous ne l'introduisons ici qu'à titre de comparaison.

Son origine étant à Viège, la distance de Viège à la gare haute projetée à Brigue est de 8365 m., tandis que la distance de Viège à notre point zéro, soit la gare de Brigue, est de 8514 m.; il y a donc 8514 m. à déduire de toutes les distances de ce projet, comptées de Viège, pour les ramener à la même origine que les nôtres. La distance de Viège à Domo, d'après ce projet, est de 46 km. 923 m. La distance comparative de Brigue à Domo serait donc de 46,923 m. — 8514 m. = km. 38,409 m.

La distance de la tête sud du tunnel d'Iselle jusqu'à Domo (axe de la gare) est de 20 km. 077 m. La distance de Brigue à Gozzano est de km. 38,409 m. + 53,722 m. = km. 92,131 m. La distance de Brigue à Arona (raccordement) est de km. 38,409 m. + 58,241 m. = 96 km. 650 m.

En ce qui concerne l'estimation de ce projet, il y a lieu de modifier les devis établis en 1878, pour les rendre comparables avec ceux que nous avons établis pour les nouveaux projets. Comme nous avons supprimé les ateliers de réparation de Brigue et de Domo, nous retranchons des devis de 1878 tout ce qui concerne ces ateliers. De plus nous avons appliqué aux quantités de ce devis nos prix qui sont quelquefois plus bas, surtout en ce qui concerne le matériel de la voie; ainsi nous avons adopté le prix de 220 fr. la tonne de rail pour la partie suisse et de 270 fr. pour la partie italienne, tandis que le devis de 1878 de la compagnie du Simplon les comptait à 275 et 325 fr.

Pour le grand tunnel toutefois, nous n'avons pas cru devoir abaisser le prix au niveau de celui de notre tracé actuel, à cause de la température plus élevée qu'on rencontrera, de l'influence qu'elle exercera sur le travail, du renchérissement de prix qui en résultera, et du fait des augmentations de dépenses qui seront occasionnées par les mauvaises conditions géologiques signalées pour ce tracé dans le voisinage de la vallée de la Saltine. Nous avons cru devoir maintenir ici le prix de 4000 fr. le mètre courant, mais tout compris, c'est-à-dire avec les frais généraux, la voie et le matériel roulant.

Nous aurons alors pour cette ligne les dépenses ci-après mises en regard du devis de 1878 de la compagnie du Simplon.

	LONGUEUR	DEVIS DE LA COMPAGNIE DU SIMPLON DE 1878		DEVIS RECTIFIÉ DE 1882	
		Total	Par kilomètre	Total	Par kilomètre
	Km.	Francs	Francs	Francs	Francs
1° Viège-Brigue . .	5,848	5 336 000	946 649	4 600 000	786 576
2° Grand tunnel . .	18,507	77 160 000	4 168 531	74 028 000	4 000 000
3° Iselle-Domo. . .	20,077	16 483 000	821 039	15 800 000	786 970
<i>Totaux</i>	44,432	98 979 000		94 428 000	

RÉSUMÉ

Nous résumons dans le tableau suivant les données principales concernant chacun des neuf projets pour la traversée du Simplon qui ont été exposés et discutés dans ce chapitre.

Pour faciliter leur comparaison quant à la longueur, nous avons indiqué pour chacun d'eux les longueurs réelles et les longueurs virtuelles. Elles sont comptées à partir du milieu du bâtiment actuel des voyageurs à Brigue jusqu'à Gozzano d'une part et jusqu'à Arona de l'autre. Les distances virtuelles ont été calculées d'après la formule de M. Amiot qui nous sert pour toutes nos comparaisons.

Pour estimer ces distances virtuelles nous avons dû appliquer le coefficient correspondant aux déclivités de 12,5 ‰ à tout le parcours de Piedimulera à Gozzano, parce que le profil de cette ligne comporte des déclivités de 12,5 ‰ entre toutes les gares. Ces déclivités, sans être continues, ne peuvent être négligées, plusieurs atteignent des longueurs de 1 1/2 à 2 km. En ce qui concerne la direction d'Arona, nous avons appliqué le coefficient correspondant à 12,5 ‰ au parcours de Piedimulera à Ornavasso, le profil de la ligne d'Ornavasso à Arona, d'après le projet de M. Pensa, ne comportant pas de déclivités dépassant 6 ‰.

En ce qui concerne le raccordement à Arona, nous rappelons que les distances sont comptées jusqu'au point où la ligne projetée se raccorde avec celle d'Arona à Milan, et que ce point est situé à 4155^m25 au delà de l'axe de la gare actuelle d'Arona, dans la direction de Milan. Pour souder nos distances de Brigue à Arona avec celles d'Arona au delà qu'indiquent les itinéraires officiels italiens, il faut donc retrancher 4155^m15 de ces dernières.

TRAVERSÉE DU SIMPLON

TABLEAU COMPARATIF

des divers projets discutés au chapitre VI.

TRAVERSÉE

Tableau comparatif des divers

Numéros d'ordre.	DÉSIGNATION DES DIVERS PROJETS	1	2	3
		Longueur de la ligne d'accès sud, dès la tête sud du grand tunnel au raccordement avec les lignes italiennes.	Coût de la ligne d'accès sud, dès la tête sud du grand tunnel au raccordement avec les lignes italiennes (à double voie).	Coût de cette même ligne d'ac- cès sud, avec les réductions par- tielles pour la simple voie.
		Km. m.	Francs	Francs
1	Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 0125, se raccordant à Piedimulera . . .	31,539,6	29 500 000 (Par km., 935 332)	23 700 000 (Par km., 751 436)
2	Tracé sur la rive gauche de la Diveria, avec déclivité de 0 ^m 013 et développement dans le val Antigorio, se raccor- dant à Domo d'Ossola	29,000	26 447 500 (Par km., 914 983)	22 347 500 (Par km., 770 603)
3	Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 018 et développement hélicoïdal, se rac- cordant à Villa d'Ossola	25,216,2	22 300 000 (Par km., 884 351)	18 800 000 (Par km., 745 558)
4	Tracé sur la rive droite de la Diveria, avec déclivité de 0 ^m 020, se raccordant à Villa d'Ossola	22,570	17 300 000 (Par km., 766 504)	14 200 000 (Par km., 620 154)
5	Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 020 et développement hélicoïdal, se raccordant à Domo d'Ossola.	20,191,6	17 550 000 (Par km., 869 172)	14 750 000 (Par km., 730 487)
6	Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 020, sans développement hélicoïdal, se raccordant à Villa d'Ossola.	23,381,9	17 170 000 (Par km., 734 328)	14 300 000 (Par km., 611 582)
7	Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 022, se raccordant près de Domo d'Ossola	17,817	15 100 000 (Par km., 847 505)	12 900 000 (Par km., 724 028)
8	Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 022, se raccordant à Domo d'Ossola. (Projet de M. Lommel, de 1881-1882.)	17,221	13 600 000 (Par km., 789 733)	11 600 000 (Par km., 673 596)
9	Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 0 ^m 0237, se raccordant à Domo d'Ossola. (Projet de la Compagnie du Simplon, de 1878.)	20,077	15 800 000 (Par km., 786 970)	12 980 000 (Par km., 646 514)

DU SIMPLON

projets discutés au chapitre VI.

4 Coût de cette même ligne à double voie, y compris la gare de raccordement italienne (900 mille fr. à ajouter).	5 Longueur des lignes à construire dès Brigue (ou Viège pour le N° 9) au raccordement avec les lignes italiennes.	6 Coût total des lignes à construire, rampe nord, rampe sud et grand tunnel, non compris la gare de raccordement italienne (sauf p. le N° 9).	7 Longueurs de Brigue à Gozzano.		8 Comparaison des longueurs de Brigue-Gozzano en prenant le projet N° 1 pour base.		9 Longueurs de Brigue à Arona. (Raccordement.)	
			Réelles.	Virtuelles ou majorées pour les rampes.	Réelles.	Virtuelles ou majorées pour les rampes.	Réelles.	Virtuelles ou majorées pour les rampes.
Francs	Km. m.	Francs	Km. m.	Km. m.	Km. m.	Km. m.	Km. m.	Km. m.
30 300 000	53,783	104 200 000	96,977	116,372	—	—	101,496	118,497
27 347 500	51,243	100 147 500	104,358	131,085	+ 7,381	+ 14,713	108,877	133,210
23 200 000	47,460	97 000 000	95,500	127,387	— 1,477	+ 11,015	100,019	126,665
18 100 000	44,813	92 000 000	92,292	122,461	— 4,685	+ 6,089	96,811	121,740
18 450 000	42,435	92 250 000	95,549	128,101	— 1,428	+ 11,729	100,068	127,381
18 070 000	45,625	91 870 000	93,666	123,616	— 3,311	+ 7,244	98,185	122,895
16 000 000	40,060	89 800 000	92,629	125,383	— 4,348	+ 9,011	97,148	124,662
14 500 000	39,464	88 300 000	93,189	125,865	— 3,788	+ 9,493	97,708	125,145
15 800 000 (Comprise dans la colonne N° 1).	47,008 (de Viège).	94 428 000	92,134	130,291	— 4,843	+ 13,919	96,653	129,569

CHAPITRE VII

AMÉLIORATION DU PASSAGE DU JURA

et appropriation des lignes de la Suisse Occidentale entre Vallorbes et Brigue
au service international.

Dans un rapport présenté le 12 juillet 1884 à la chambre des députés de la République française, la commission chargée d'examiner les propositions concernant le Simplon et le Mont Blanc s'exprimait comme suit par l'organe de M. l'ingénieur Brossard, député de la Loire.

« Considérés dans leur ensemble, les chemins de fer de Paris à Milan par le Mont Blanc
» et le Simplon se présentent dans des conditions techniques d'établissement bien diffé-
» rentes, qui devront influer d'une manière sensible sur les résultats de leur exploitation.
» La première emprunte les grandes artères de la compagnie Paris-Lyon-Méditerranée
» et de la Haute Italie sur la majeure partie de son parcours ; la seconde, au contraire,
» est obligée de franchir le Jura ; de là, une cause de supériorité de la ligne du Mont Blanc
» sur celle du Simplon, au point de vue de l'exploitation. Les partisans du Simplon recon-
» naissent cet avantage et admettent, comme complément de l'ouverture du tunnel, l'amé-
» lioration de la ligne de Mouchard à Pontarlier et de Pontarlier à Vallorbes-Cossonay.

» Les dépenses, conséquences de l'exécution de ces travaux, s'élèveraient approxima-
» tivement à 50 millions, d'après notre honorable collègue M. Lesguillier. »

D'autre part et à plusieurs reprises les adversaires du Simplon, tout en reconnaissant sa supériorité quant aux conditions de traversée des Alpes, lui ont objecté les pentes de 25 millimètres et des courbes de 300 mètres de rayon qu'on rencontre au Jura sur quelques parcours de très peu d'étendue.

La compagnie de la Suisse occidentale et du Simplon a toujours considéré la correction

du passage du Jura comme une conséquence nécessaire de l'entreprise du Simplon, et sans vouloir empiéter ici sur les attributions des autorités et des compagnies françaises, elle est en mesure de démontrer que cette correction est non seulement possible, mais relativement facile, et qu'on peut ramener les déclivités du passage du Jura, sur les deux versants, à un maximum de 15 ‰ avec une dépense variant, suivant les projets, de 17 à 27 millions, c'est-à-dire s'élevant à la moitié du chiffre indiqué par la commission de la chambre des députés.

L'examen de la carte d'état-major au $\frac{1}{80\,000}$ suffit pour montrer que la ligne de Dôle à Lausanne, par Mouchard et Vallorbes, est susceptible de notables améliorations. L'embranchement actuel de Jougne à Vallorbes a été construit après la ligne Dôle-Mouchard-Pontarlier-Verrières ; il l'a été dans de mauvaises conditions de tracé, compliquées encore par une gare de rebroussement à Vallorbes. On ne songeait point alors à une voie internationale. La ligne fait ainsi de Frasné à Vallorbes un long détour vers le nord, pour passer par Pontarlier. Elle s'élève sur le versant français à la cote de 1014 mètres par des rampes de 23^{mm}, pour redescendre ensuite à Vallorbes depuis les Hôpitaux avec des pentes de 25 et de 20^{mm}. Frasné, avant-dernière station entre Paris et Pontarlier, est à l'altitude de 857 m. A partir de là, le terrain est relativement plat et les altitudes ne varient qu'entre 840 et 870 m., jusqu'au pied du Mont d'Or qui est situé à la frontière suisse. Le Mont d'Or lui-même peut être traversé par un tunnel de 6560 mètres débouchant directement sur Vallorbes et supprimant la gare de rebroussement.

Bien que notre étude n'ait été faite qu'au moyen de cartes à grande échelle, elle suffit pour prouver la possibilité d'exécution d'un pareil projet. En voici la description sommaire, basée sur le plan de situation et sur les profils qui accompagnent ce mémoire :

Le tracé se détache de l'extrémité est (côté Pontarlier) de la station de Frasné, à 437 km. 150 m. de Paris par une courbe de 400 m. Il traverse par un grand alignement le plateau de Frasné et le contrefort de la combe aux Oies, ce dernier par un tunnel de 1020 m. Il suit la petite vallée de Vaux où l'on rencontre encore un tunnel de 200 m. et va traverser la vallée du Doubs entre les deux lacs de Saint-Point et de Remoray, près de l'Abergement. De là il pénètre dans la gorge que forme la vallée du Doubs ; recoupant un contrefort par un tunnel de 280 m., il va atteindre son point culminant près des Longevilles, au pied du Mont d'Or, à la cote d'altitude 896^m58. La chaîne principale du Jura soit le Mont d'Or, serait franchie par un tunnel de 6560 m. de longueur avec une seule pente de 13,5 millimètres vers la Suisse ; il déboucherait directement et par une courbe de 400 m. sur la gare actuelle de Vallorbes, dont les terrassements sont à l'altitude de 809^m58 (rail 810,18) et dont la plateforme serait agrandie au moyen des dépôts formés par les déblais de ce tunnel, pour être appropriée à sa destination de gare internationale.

Le tunnel aurait 5135 m. sur territoire français et 1425 m. sur territoire suisse.

La longueur totale entre Frasné et Vallorbes serait de 24 km. 655 m.

Voici les principaux éléments de ce tracé :

1. *Tracé.*

Longueurs des 18 alignements	19,331 m., soit 78,41 ‰.
10 courbes de 400 m. de rayon, 3879 m.	15,73 ‰
4 » 500 » 811 »	3,29 ‰
3 » 1000 » 634 »	2,57 ‰
} 5 324 m., soit 21,59 ‰.	

Total égal à la longueur de la ligne, 24 655 m., soit 100 ‰.

2. *Profil.*

Paliers : longueur totale de	7 569 m., ou 30,69 ‰.
Rampes : 1 de 7 ‰ 3 800 m.	} 7 350 » ou 29,81 ‰.
1 de 8 ‰ 3 550 »	
Pentes : 1 de 4 ‰ 3 112 »	} 9 736 » ou 39,50 ‰.
1 de 13,5 ‰ 6 624 »	

Total égal à la longueur de la ligne, 24 655 m., soit 100 ‰.

Quant au coût de cette ligne, on peut l'estimer comme suit :

18 km. 595 m. à ciel ouvert et à 150 000 fr.	Fr. 2 889 250
1 » 500 m. petits tunnels à 900 fr. le mètre	» 1 350 000
6 » 560 m. grand tunnel du Mont d'Or, à 2 000 fr. le m. »	13 120 000
	<u>Fr. 17 359 250</u>

soit en chiffres ronds 17½ millions, ou par kilomètre environ 710 000 fr.

Voyons maintenant ce qu'on y gagne. La distance de Frasné à Vallorbes par Pontarlier et les Hôpitaux est de km. 44,971 m.

et par notre tracé direct du Mont d'Or » 24,655 »

On a donc un *raccourcissement en distance absolue* de km. 17,316 m.

Si l'on fait entrer en ligne de compte les distances virtuelles, toujours calculées d'après la formule de M. Amiot, comme l'a fait la commission parlementaire, on a :

Distance virtuelle de Frasné à Vallorbes par Pontarlier et les Hôpitaux	km. 66,171 m.
Distance virtuelle de Frasné à Vallorbes par le Mont d'Or	» 30,915 »

On a donc par ce tracé un *raccourcissement en distance virtuelle* de km. 35,256 m.

La distance absolue de Dôle à Lausanne est par la ligne actuelle de km. 164,043 m. et la distance virtuelle de » 235,073 »

Par cette nouvelle ligne la distance absolue serait de » 147,118 »
et la distance virtuelle de » 200,478 »

Mais on pourrait encore améliorer davantage le passage par Vallorbes, et la correction de Frasne à Vallorbes n'est pas la seule que comporte la ligne de Dôle à Lausanne.

On remarque, entre Mouchard et la Haute-Joux près de Boujailles (km. 427), des rampes de 20 ‰ qui ont un développement de km. 27,2, mais qui ne sont pas constantes. Ainsi, sur les 5 kilomètres entre Pont-d'Héry et Andelot, se trouve un plateau avec rampes de 4 à 5 millimètres et des paliers ; de même aux abords de Boujaille, l'examen de la carte fait voir qu'il serait possible de trouver entre Mouchard et Boujaille un tracé plus développé de 2 kilomètres, avec quelques tunnels et viaducs plus grands, et qui ne comporterait pas de rampes de plus de 15 millimètres. Il aurait une longueur de 36 kilomètres.

La ligne actuelle de Mouchard à Pontarlier a coûté 186 904 fr. par kilomètre pour l'infrastructure ¹.

Nous estimons que la nouvelle ligne coûterait, déduction faite de ce qui pourra être réutilisé de l'ancienne, 200 000 fr. par kilomètre, soit 7 200 000 fr. Nous avons pris un coût kilométrique plus élevé parce que les travaux seront un peu plus considérables.

Enfin du côté suisse, entre Vallorbes et la bifurcation de Daillens, il serait également possible d'apporter une modification au tracé. De Vallorbes au viaduc de l'Orbe il n'y a qu'une seule pente de 16 millimètres qui pourrait facilement être réduite à 15 millimètres par un simple relevage de la voie de 0^m45 au maximum sur 500 m. A la culée côté Lausanne de ce viaduc, nous avons la cote d'altitude 790^m68 et la cote kilométrique (comptée de Lausanne) km. 43,733 m.; à la bifurcation de Daillens la cote d'altitude est de 449^m23 et la cote kilométrique de Lausanne km. 19,767 m. Il y a donc une différence de hauteur de 341^m45 sur une longueur de km. 23,966 m., ce qui correspond à une pente moyenne de 14,25 ‰.

Il ne serait donc pas difficile de ramener la pente à 15 ‰. Un examen sommaire nous a prouvé que cela pourrait se faire en utilisant, avec modification (exhaussement ou abaissement), 12 kilomètres de la ligne actuelle et en faisant 12 kilomètres de tracé nouveau.

L'infrastructure (pour double voie) de la ligne de Jougne actuelle a coûté 3 850 000 fr. pour km. 29,342 m., soit par kilomètre 131 245 fr. ²; nous pouvons estimer que cette

¹ Mémoire de M. Ruelle, directeur de la construction de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée sur le chemin de fer Franco-Suisse, *Annales des ponts et chaussées*, 1865.

² Voir : *les Chemins de fer de la Suisse occidentale, au point de vue de la construction*, par J. Meyer, ingénieur en chef. Lausanne, G. Bridel, 1878.

rectification coûtera 150 000 fr. le kilomètre pour les 12 kilomètres à établir à neuf et 75 000 fr. le kilomètre pour ceux à modifier.

12 kilomètres à Fr. 150 000 =	. . . . .	Fr. 1 800 000
12 » » 75 000 =	. . . . .	» 900 000
Total,		<u>Fr. 2 700 000</u>

Les évaluations de ces diverses corrections se totalisent comme suit :

1° Frasnè-Mont d'Or-Vallorbes	. . . . .	Fr. 17 360 000
2° Mouchard-Boujaille	. . . . .	» 7 200 000
3° Vallorbes-Daillens	. . . . .	» 2 700 000
Total,		<u>Fr. 27 260 000</u>

Il y a loin de là aux 50 millions auxquels le rapport de la commission parlementaire de 1881 évaluait la correction de la traversée du Jura.

Voici maintenant comme les choses se présentent au point de vue des distances.

Il faut ajouter 3 kilomètres aux distances absolues, en raison des augmentations de développements nécessaires en certains points.

La distance absolue de Dôle à Lausanne sera donc, par cette ligne entièrement corrigée, de 150 kilomètres.

Quant à la distance virtuelle, cette ligne ne comportera plus que des rampes de 15 millimètres, et la majoration à ajouter, calculée d'après la formule de M. Amiot, sera de 44 km. 500 mètres.

La distance majorée de Dôle à Lausanne sera de km. 150,12 et 44,50 = 194^{km.}62. La ligne actuelle présentant 235 km. 7 m., on obtiendrait un *raccourcissement virtuel* de 41 km. 1 m. par ces améliorations combinées.

Nous pensons avoir suffisamment démontré que l'amélioration du passage du Jura peut être obtenue avec un sacrifice pécuniaire parfaitement admissible, en raison de l'importance du but à atteindre, soit 27 250 000 fr. Nous avons réfuté en même temps les partisans du Mont Blanc lorsqu'ils alléguent que le passage du Jura présente des déclivités *irréductibles* de 20 et 25 millimètres. Nous avons vu, au contraire, qu'elles sont *parfaitement réductibles* et que sous ce rapport, comme sous tous les autres, le Simplon peut être mis en état de défier la concurrence.

Indépendamment de la dépense nécessitée pour l'amélioration du passage du Jura en ce qui tient aux pentes et aux rampes, il faut encore mentionner dans ce chapitre celle

qui serait nécessaire pour approprier les lignes de chemins de fer de la Suisse Occidentale entre Vallorbes et Brigue à un grand service international.

Ces dépenses se résument comme suit :

1° Etablissement de la double voie sur une longueur de	
186 km. 672 m.	Fr. 9 400 000 —
2° Aménagement des gares de Vallorbes, Renens	
et Lausanne	» 1 200 000 —
	<hr/>
Soit au total :	Fr. 10 600 000 —
	<hr/>

Cette dépense n'a du reste qu'un caractère tout à fait éventuel et ne deviendra nécessaire qu'au fur et à mesure du développement du trafic international.

CHAPITRE VIII

COMPARAISON ENTRE LE SIMPLON ET LE MONT BLANC.

Nous avons, au commencement de ce mémoire, donné un résumé des différentes études dont le Simplon fut l'objet. Il nous reste à nous livrer à une discussion comparative entre le Simplon et le principal projet qu'on lui oppose, celui du Mont Blanc.

Voici d'abord l'historique des études faites au Mont Blanc, d'après une brochure publiée à Turin en 1880¹. — L'auteur s'attache à prouver l'antériorité de ce projet.

D'après lui, ce serait en 1814, longtemps avant l'invention des chemins de fer, que la commune de Courmayeur aurait demandé au gouvernement la construction d'une galerie qui, à travers le Mont Blanc, relierait la vallée de la Doire à Chamounix.

En 1844, M. Laurent Martinet demandait, dans la *Feuille d'annonces d'Aoste*, le percement d'une galerie de 12 km. 330 m. sous le col du Géant.

Après lui MM. Joseph Alby, Joseph Bonelli (1857), les chanoines Carrel et Gorret, le chevalier Joseph Corona tinrent successivement l'attention en éveil sur la question d'un chemin de fer dans la vallée d'Aoste avec prolongement et raccordement dans celle de l'Arve.

En 1874, un ingénieur belge, M. Stamm, se servant de l'expérience acquise ailleurs, étudia un rapide avant-projet, avec profil en long, qui fut exposé en 1875 au congrès des sciences géographiques de Paris (section suisse). Ce fut la première apparition officielle du projet de percement du Mont Blanc.

Depuis cette époque, M. le chanoine Bérard, M. Jules Philippe, député d'Annecy, M. Chardon, sénateur de la Haute-Savoie, MM. les ingénieurs Chabloz, Garola, Godin de Lépinay, ont défendu le projet dans divers écrits.

¹ *Projet par le Mont Blanc*, par M. Joseph Bonelli.

Quel est le but d'un nouveau percement des Alpes?

Faire concurrence au Saint-Gothard, cette ligne essentiellement créée par et pour l'Allemagne, en vue d'ouvrir à son commerce une grande artère droite et rapide sur la Lombardie, l'Adriatique et Suez.

Cette concurrence ne doit pas être entreprise pour le plaisir d'enlever des recettes au St. Gothard, mais bien pour conserver à la France une activité commerciale qui lui échappe; pour retenir dans le pays les millions provenant des manutentions, des transports, des commissions, des échanges internationaux; pour permettre aux centres industriels d'agrandir leur cercle d'affaires en recevant la matière première à meilleur compte et en expédiant plus loin les objets fabriqués.

Dans quelles conditions cette concurrence doit-elle être conçue?

En partant des mêmes sources de produit : la mer du Nord, la Belgique et les départements de l'Est, et en visant les mêmes marchés : la Lombardie et l'Adriatique; en offrant aux marchandises et aux voyageurs une économie de temps et d'argent.

Examinons lequel des deux rivaux, Simplon ou Mont Blanc, répond le mieux à ce programme.

Itinéraires.

Si l'objectif au sud des Alpes est le même pour les lignes allemande et française, le point de départ est différent. Ostende est le port naturel du Saint-Gothard, Calais celui des lignes projetées par le Mont Blanc ou le Simplon. — Le fret est sensiblement le même aujourd'hui d'Angleterre sur ces deux villes, mais cette parité peut n'être que provisoire : le tunnel sous la Manche, s'il s'exécute, fera de Calais le point forcé où la voie du Gothard devra chercher à toucher la mer du Nord. Qu'il se fasse ou non, les voyageurs préféreront toujours la courte traversée sur Calais à celle plus longue sur Ostende. Le fret pourrait aisément être abaissé. — Nous avons donc pris Calais comme point de départ de nos itinéraires sur Plaisance, nœud des chemins de fer italiens d'une part, et Milan de l'autre.

Saint-Gothard.

Etablissons d'abord les distances d'Ostende à Plaisance pour servir de comparaison¹.

¹ Dans l'établissement de ces itinéraires nous nous sommes servis des tableaux graphiques de la marche des trains et des *profils en long* des chemins de fer belges, Alsace-Lorraine, suisses, Haute-Italie, Nord français, Paris-Lyon-Méditerranée, Est, et Dombes.

Pour les majorations nous avons suivi la commission parlementaire française de 1881, en appliquant comme elle la formule Amiot et ses mêmes coefficients; nous n'avons majoré les déclivités qu'à partir de 8 pour mille.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles Km.
Ostende-Bruxelles	124	—	124
Bruxelles-Luxembourg (rampes de 16 pour mille) . .	226	113	339
Luxembourg-Metz	66,18	4,75	70,93
Metz-Rieding	84,63	8,46	93,09
Rieding-Strasbourg	66,82	6,68	73,50
Strasbourg-Bâle	140,89	—	140,89
Bâle-Olten	39,29	19,20	58,49
Olten-Lucerne	54,85	10,97	65,82
Lucerne-Erstfeld	66,50	8,26	74,76
Eerstfeld-Biasca	89,70	71,76	161,46
Biasca-Giubiasco	22,30	4,46	26,76
Giubiasco-Chiasso	52,10	31,33	83,43
Chiasso-Milan	52,64	13,30	65,94
Milan-Plaisance	69,23	—	69,23
Totaux,	1155,13	291,17	1447,30

Les ingénieurs du Simplon établissent leurs distances comme suit de Calais à Plaisance par le tracé de 12,5 ‰ entre Iselle et Piedimulera :

Simplon, par Reims et Gozzano.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Calais-Amiens	165,30	11,22	176,52
Amiens-Tergnier	79	—	79
Tergnier-Laon	28,10	—	28,10
Laon-Reims	52	—	52
Reims-Chaumont	190	—	190
Chaumont-Gray	90,70	—	90,70
Gray-Auxonne	36,80	—	36,80
Auxonne-Pontarlier	107,50	42,20	149,70
Pontarlier-Vallorbes	25,57	20,45	46,02
Vallorbes-Daillens	26,54	18,57	45,11
Daillens-Lausanne	19,37	1,94	21,31
Lausanne-St-Maurice	51,54	11,30	62,84
St-Maurice-Brigue	93,63	18,72	112,35
Brigue-Iselle	22,52	—	22,52
Iselle-Gozzano	74,46	14,89	89,35
Gozzano-Novare	35,59	7,11	42,70
Novare-Mortara	24,23	—	24,23
Mortara-Broni	45	—	45
Broni-Plaisance	37	—	37
Totaux,	1204,85	146,40	1351,25

Simplon, par Reims et Arona.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Calais-Iselle (voir ci-dessus)	988,57	124,40	1112,97
Iselle-Ornavasso	46	9,20	55,20
Ornavasso-Arona	32,98	3,30	36,28
Arona-Milan	64,96	3,48	68,44
Milan-Plaisance	69,23	—	69,23
Totaux,	1201,74	140,38	1342,12

Simplon, par Paris et Gozzano.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Calais-Amiens	165,30	11,22	176,52
Amiens-Paris	130,60	—	130,60
Paris-Dijon	314,30	9,94	324,24
Dijon-Pontarlier	139,30	42,20	181,50
Pontarlier-Gozzano-Plaisance	455,45	92,98	548,43
Totaux,	1204,95	156,34	1361,29

Simplon, par Paris et Arona.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Calais-Pontarlier (voir ci-dessus)	749,50	63,36	812,86
Pontarlier-Arona-Plaisance	452,34	86,96	539,30
Totaux,	1201,84	150,32	1352,16

Paris-Milan, par le Simplon et Gozzano.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Paris-Pontarlier	453,60	52,14	505,74
Pontarlier-Gozzano-Novare	349,22	92,98	442,20
Novare-Milan	49,17	—	49,17
Totaux,	851,99	145,12	997,11

Paris-Milan, par le Simplon et Arona.

	Distances réelles.	Majorations.	Distances virtuelles.
	Km.	Km.	Km.
Paris-Pontarlier	453,60	70,98	310,15
Pontarlier-Iselle	239,17	75,48	314,65
Iselle-Arona-Milan	143,94	15,98	159,92
Totaux,	836,71	139,10	975,81

Le tracé de correction du Jura par Frasnè et Vallorbes (voir chapitre VII) donnerait, sur toutes ces distances, en tenant compte des majorations, un raccourci de 35 kilomètres.

Les ingénieurs du Mont Blanc estiment leurs longueurs comme suit¹ :

	Km.
Calais-Palais	297
Ceinture de Paris	12
Paris-Laroche-Cravant-Maison-Dieu	238
Maison-Dieu-Dracy-St-Loup	70
Dracy-St-Loup-Chagny-Châlons	58
Châlons-St-Germain-Baudrières-Bourg	77
Bourg-Nantua-Bellegarde	64
Bellegarde-Collonge-Annemasse-Aoste-Ivrée	229
Ivrée-Santhia-Mortara-Plaisance	149
Distance réelle Total,	1194
Majoration d'après M. Chardon	75
Distance virtuelle Total,	1269

Nous contestons le chiffre de la distance réelle comme celui de la majoration.

En effet, au lieu de suivre la grande ligne de vitesse, bien établie et en pleine exploitation, de Paris, Dijon, Mâcon, Culoz et Genève, les partisans du Mont Blanc sont obligés, pour réduire leur longueur, d'emprunter une série de raccourcis, lignes régionales à fortes déclivités et courbes de petits rayons, à peine terminées ou en construction.

Entre Laroche et Chagny, on suivrait jusqu'à Maison-Dieu, sur 83 km., par Auxerre et Avallon, les lignes de Laroche à Nevers et de Cravant aux Laumes; on viendrait ensuite prendre, à Dracy-Saint-Loup, pour les suivre jusqu'à Chagny sur 38 km., les lignes transversales d'Etang à Santenay, puis de Santenay à Chagny on emprunterait, entre Maison-Dieu et Dracy-Saint-Loup, une ligne actuellement en construction par le P.-L.-M. ¹

¹ *Mont Blanc ou Simplon*, par M. Chardon, sénateur, Paris, Chaix, 1880:

Quant à l'intervalle entre Châlons et Bourg on le franchirait en empruntant, sur 78 km. une partie de la ligne secondaire des Dombes par Saint-Germain-du-Plain.

Enfin, entre Bourg et Bellegarde, les ingénieurs du Mont Blanc empruntent la ligne par Nantua. Mais cette voie, outre des courbes de 200 à 275 m. à ses extrémités, présente plus de 9 km. de courbes dont le rayon est inférieur à 350 m. De plus, pour atteindre l'altitude de 586 m. les fortes rampes y sont extrêmement multipliées : 15 à 25 mm. sur 23 km. et même 27 mm. sur 8 km.

Tous ces raccourcis diminuent la distance réelle de Laroche à Bellegarde de 87 km. 30 mais ils donnent par leurs fortes rampes une majoration de 146 km. 15 au lieu de 26 km. 92 de majoration par la grande ligne. Ces raccourcis ne sont donc qu'illusoire et invoqués pour les besoins de la cause.

Les ingénieurs du Mont Blanc devraient, pour rester dans la vérité et dans le mode de calcul de la commission parlementaire, établir leur itinéraire comme suit :

Mont Blanc, par les raccourcis de l'itinéraire de M. Chardon.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Calais-Amiens	165,30	11,22	176,52
Amiens-Paris	130,60	—	130,60
Paris-Laroche	154,90	—	154,90
Laroche-Cravant	36,50	—	36,50
Cravant, Maison-Dieu	46	18,40	64,40
Maison-Dieu, Dracy-St-Loup	70	28	98
Dracy-St-Loup, Chagny	37,80	18,90	56,70
Chagny-Châlons	15,70	—	15,70
Châlons-Bourg	77,50	23,25	100,75
Bourg-Nantua-Bellegarde	65	57,60	122,60
Bellegarde-Plaisance (voir plus loin)	440,68	82,30	522,98
Totaux,	1239,98	239,67	1479,65

La commission de la chambre des députés a admis la possibilité d'une autre direction pour la ligne du Mont Blanc, savoir de Paris à Dijon par la grande ligne et de Dijon à Bourg par Saint-Amour, donnant un raccourci réel d'environ 20 km, sur la ligne principale par Mâcon. Cette ligne, actuellement en construction, est loin de jouir du magnifique régime de pentes de la grande artère de Dijon à Mâcon et de Mâcon à Bourg. Elle présente entre Dijon et Saint-Amour, sur un tiers de sa longueur, des déclivités supérieures à 5 mm., un grand nombre de 8, quelques-unes de 10.

De plus, la section de 30 km. entre Saint-Amour et Bourg est toute en pentes et rampes

plupart de 10 mm., quelques-unes de 12. Au point de vue virtuel ce raccourci s'annule, car les majorations donnent sur ce parcours un allongement de 27 km. 8.

C'est dans la conviction que les grandes lignes seront seules utilisées, que les partisans du Simplon n'ont pas fait flèche des raccourcis, tout aussi peu justifiables, d'Amiens par Château-Thierry, Troyes, Is-sur-Till, de celui de Gray à Besançon par Marnay avec des déclivités de 15 pour mille, de celui de Besançon à Pontarlier avec des rampes de 15, 25 et même 30 mm., et d'autres encore que l'inspection de la carte peut remettre en mémoire.

Nous calculerons donc l'itinéraire du Mont Blanc par les lignes existantes, comme nous l'avons fait pour le Simplon.

Mont Blanc, par les grandes lignes existantes.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles. Km.
Calais-Amiens	165,30	11,22	176,52
Amiens-Paris	130,60	—	130,60
Paris-Dijon	314,30	9,94	324,24
Dijon-Mâcon	125,40	—	125,40
Mâcon-Ambérieux	68,30	—	68,30
Ambérieux-Culoz	49,90	11,58	61,48
Culoz-Bellegarde	32,80	5,40	38,20
Bellegarde-Annemasse	39	23,40	62,40
Annemasse-Chamounix	85	34	119
Tunnel	19,22	(pour mémoire)	19,22
Pré-St-Didier-Aoste	38,35	11,50	49,85
Aoste-Ivrée	67	13,40	80,40
Ivrée-Santhia	64	—	64
Santhia-Plaisance	128,11	—	128,11
Totaux,	1327,28	120,44	1447,72

De Paris à Milan, par le Mont Blanc.

	Distances réelles. Km.	Majorations. Km.	Distances virtuelles Km.
Paris-Santhia	903,27	109,22	1012,49
Santhia-Milan	90,18	—	90,18
Totaux,	993,45	109,22	1102,67

Ajoutons, pour rester dans le vrai, qu'un raccourci serait facile à créer entre Ivrée et Santhia. Cette abréviation, non prévue ni classée, donnerait une diminution de parcours de 28 à 29 km. (35 au lieu de 64). Nous avons visité le terrain l'année dernière; il nous paraît évident que si jamais le Mont Blanc se faisait, la ligne Ivrée-Santhia, qui n'offre aucune difficulté, serait forcément construite. Ce raccourci ramènerait la distance de Calais-Plaisance par le Mont Blanc à 1418 km.

Quelle que soit la direction acceptée pour la ligne internationale par le Mont Blanc, on ne modifiera pas le fait que ce chemin de fer déboucherait d'une part sur Genève et Culoz où il se souderait à celui du Mont Cenis pour exploiter la même zone française; d'autre part qu'il sortirait en Piémont pour se souder à Chivasso à la ligne du Mont Cenis sur Milan, exploitant la même zone italienne. On peut donc affirmer avec raison que le Mont Blanc ne serait qu'une concurrence au Mont Cenis, sans aucun bénéfice de parcours, puisque la distance de Calais à Plaisance par le Cenis est de 1423 km. et par le Mont Blanc de 1447 ou 1418 km.

Aussi ne comprenons-nous pas l'expression *l'auxiliaire du Mont Cenis* dont on a qualifié le projet par le Mont Blanc. Il pourrait en être *l'auxiliaire* si la ligne de Modane était surchargée; mais il suffit de consulter les tableaux officiels du P.-L.-M. pour être convaincu du contraire.

Nos adversaires nous disent que si le Mont Blanc est trop près du Mont Cenis, le Simplon, de son côté, est trop voisin du Saint Gothard. Nous ne comprenons pas la portée de cet argument, car plus la nouvelle percée se rapprochera du Gothard, mieux elle sera placée pour lui faire une concurrence sérieuse sur son propre marché.

L'opinion que nous émettons sur la valeur commerciale du Mont Blanc est partagée par la chambre de commerce de Turin. Dans le rapport fait au nom d'une commission spéciale de cette chambre, M. l'ingénieur Locarni l'appuie par des arguments qui prouvent surabondamment que les partisans du Mont Blanc ne doivent pas compter sur les sympathies de la capitale du Piémont.

Altitude des tunnels.

La grande différence entre les lignes du Mont Blanc ou du Grand Saint-Bernard et celle du Simplon consiste en ce que les premières sont des lignes essentiellement de montagne, tandis que la seconde est une ligne de plaine. En effet le projet par le Grand Saint-Bernard s'élève à 1804 m. au-dessus de la mer. Au Mont Blanc M. Chardon propose plusieurs solutions de percement à 1447, 1073 et 1003 m. d'altitude. Un récent projet de M. Muzy, ingénieur en chef du génie civil italien, fixe les altitudes de 1035 et 1053 m. Le Simplon serait percé, d'après nos plus récentes études, à 689 m. d'altitude

du côté nord, 627^m,83 sur le versant italien, atteignant au point culminant central 708 m. au-dessus de la mer.

On objecte que, malgré cet avantage incontesté du Simplon, sa ligne d'accès n'en doit pas moins franchir le Jura à la cote de 1014 m.; c'est-à-dire à peu de chose près la même altitude que le souterrain du Mont Blanc. Mais on oublie que les modifications dont il est question plus haut pour abaisser le passage du Jura à la cote de 896 m. ont précisément pour but d'écarter cette objection. Toutefois la région montagneuse à 1000 m. d'altitude dans le Jura jouit d'un tout autre climat que celle de même hauteur dans le proche voisinage des immenses champs de glaces et de neiges qui entourent le géant des Alpes.

Quant au climat de Brigue et d'Iselle, les deux têtes du tunnel projeté au Simplon, il est, en hiver, plus doux que celui de Chamounix et de Courmayeur. Les dernières vignes se cultivent à une altitude supérieure à celle du souterrain projeté.

Longueur des tunnels.

L'avantage d'un tunnel de base ne pouvait être obtenu, malgré le peu d'épaisseur du massif au Simplon, que par une plus grande longueur de souterrain. Alors que le tunnel du Mont Cenis compte 12 233 m. et celui du Saint-Gothard 14 920, le tunnel du Simplon, exactement mesuré, aurait 19 795 m. d'après le projet le plus bas récemment étudié. Au Mont Blanc, M. Chardon annonce, à l'altitude 1073 m., un souterrain de 13 640 m. plus une galerie dite *sous vallée* de 5300 m., ensemble 18 940 m. D'après M. l'ingénieur Chabloz et M. le chanoine Bérard, la longueur serait de 19 270 m.; d'après le projet Muzy, 19 220 m.; mais, à l'inverse du Simplon, ces longueurs ne reposent sur aucune triangulation.

Les ingénieurs du Mont Blanc entendent par une galerie sous vallée un tunnel immédiatement en prolongement de l'autre, sous la vallée de Courmayeur, au lieu d'être sous le massif même du Mont Blanc. Cette distinction permet une décomposition illusoire de la longueur totale. La possibilité de forer un ou plusieurs puits pour attaquer la galerie *sous vallée* n'autorise pas le masque sous lequel on cherche à dissimuler la distance qui sépare les deux têtes.

Quant à la *galerie sous vallée* en elle-même, nous renvoyons aux expertises géologiques publiées comme annexes du chapitre III de ce mémoire (pag. 33 à 45) et à l'opinion qu'a exprimé avec tant d'autorité M. le professeur Colladon ¹.

¹ Notes sur les inconvénients et les difficultés du tunnel étudié sous le Mont Blanc. — Genève, Schuchardt, 1880.

Lignes d'accès du Simplon.

Au Simplon, la ligne d'accès du versant nord est en exploitation depuis le mois de juillet 1878. Des trains réguliers de marchandises et de voyageurs arrivent à Brigue même, à 2 km. de la tête du grand tunnel. Cette ligne doit se souder bientôt, sur la rive gauche du lac Léman, au réseau Paris-Lyon-Méditerranée (ligne d'Evian et de la Haute Savoie); sur la rive droite, elle se bifurque à Lausanne sur Berne, Pontarlier et se prolonge sur Genève. Les déclivités n'excèdent pas onze pour mille et n'atteignent que rarement ce chiffre; le nombre et la longueur des tunnels sont insignifiants. On voit quelle facilité serait apportée à l'attaque du chantier de Brigue, toutes choses arrivant par chemin de fer à pied d'œuvre.

En Italie les têtes du réseau de chemins de fer se trouvent actuellement à Arona sur les rives du lac Majeur, et à Gozzano à l'extrémité méridionale du lac d'Orta. D'Arona à Ornavasso, point de jonction des lignes venant d'Arona et de Gozzano, la distance est de 33 km., de Gozzano à Ornavasso, 28 km., et la branche commune de Ornavasso à Iselle, tête sud du tunnel proposé, est de 46 km. On aurait donc à construire, sur le versant italien, 79 km. pour rejoindre Arona, et 74 km. pour se souder à Gozzano.

En aval de Domo il existe déjà 10 à 11 km. de terrassement avec une partie des travaux d'art, exécutés par l'ancienne compagnie de la ligne d'Italie. Ces travaux appartiennent aujourd'hui au gouvernement italien.

Arona avait été adopté par la compagnie de la ligne d'Italie, dans les projets présentés par elle en 1860 et approuvés par le gouvernement italien, comme point de jonction avec le réseau de la péninsule. D'après la loi italienne du 29 juillet 1879, c'est par Gozzano, au lieu d'Arona, que la première ligne d'accès du Simplon doit être construite. Les travaux sont commencés.

Quant à la ligne Ornavasso-Arona, elle sera construite lorsque le percement du Simplon sera assuré. Elle a déjà fait l'objet d'études complètes.

D'après le projet élaboré en 1882 par la Compagnie de la Suisse Occidentale et du Simplon, la pente de la ligne d'accès sud serait de 12,5 pour mille.

Lignes d'accès du Mont Blanc.

Les ingénieurs du Mont Blanc font mystère des projets qu'ils étudient. Devant la commission parlementaire, M. Godin de Lépinay n'a produit qu'un tracé au crayon rouge sur un fragment de carte à petite échelle et un profil en long à l'avenant. Il nous

est donc difficile de juger les conditions dans lesquelles sont conçues les lignes d'accès du côté français, autrement que par notre connaissance du terrain et par l'opinion d'ingénieurs éminents tels que MM. Colladon, Vauthier, etc.

Du côté nord, la ligne d'accès se détacherait du réseau Paris-Lyon-Méditerranée, à Annemasse non loin de Genève, pour remonter la vallée de l'Arve. Un embranchement est, il est vrai, construit entre Annemasse et Laroche (18 km.), localité située à l'ouest de l'Arve; mais de l'aveu même des promoteurs du Mont Blanc, il devrait être abandonné, comme ne répondant pas aux conditions requises pour la grande ligne internationale, car de Laroche (altitude 580) il faudrait descendre dans la vallée de l'Arve à Cluse (altitude 480).

D'Annemasse à Chamounix, la distance réelle est de 85 km. M. Godin de Lépinay dit pouvoir gravir d'Annemasse (433) à la tête du tunnel près Chamounix (1073) avec une rampe de 12,5 pour mille; de récentes études semblent adopter 13,5.

Quant aux abords sud, le récent projet de M. Muzy nous apprend qu'on peut établir entre Pré-Saint-Didier et Aoste une pente de 12,5 pour mille, à la condition de donner du 3 pour mille aux plateformes des stations. (Projet rouge.) Une variante (projet vert) suppose les plateformes en palier, ce qui oblige à descendre de Pré-Saint-Didier à Aoste avec du 14 et 14,5 ‰. La galerie *sous vallée* de M. Muzy aurait 5720 m., elle serait percée à l'aide de cinq puits. Les abords exigent onze souterrains d'une longueur totale de 6420 m. La longueur de la galerie principale est de 13 500 m., lesquels ajoutés aux 5720 m. de galerie sous vallée donnent une longueur totale de tunnel de 19 220 m., soit à peu près la parité de celle prévue au Simplon, mais à 400 m. plus haut du côté italien. (1055 au lieu de 627.)

Considérations techniques.

D'après les itinéraires que nous avons établis, il reste à construire aujourd'hui pour souder les têtes de ligne des deux tracés au Mont Blanc :

Annemasse-Chamounix	85 ^k 000 m.
Tunnels sous montagne et sous vallée	19 220
Pré-Saint-Didier-Aoste, d'après M. Muzy, pente 12,5	38 780
	<hr/>
	143 ^k 000 m.

Au Simplon d'après le projet avec déclivité maximale de 12 1/2 ‰.

Du 0 de Brigue à la tête nord du tunnel	2 ^k 448 m.
Longueur du tunnel	19 795
De la tête sud à Piedimulera	31 540
	<hr/>
	53 ^k 783 m.

La longueur à construire de Brigue à Piedimulera est de 53^{km},783, contre 143 km. à construire au Mont Blanc entre Annemasse et Aoste.

M. le sénateur Chardon ne compte pas de la même façon : sous prétexte que toutes les lignes d'accès sont établies par des lois, il néglige dans son appréciation des dépenses les frais de la difficile section d'Annemasse à Chamounix tout entière et ceux d'Aoste à Ivry. « Il ne reste donc plus, dit-il, que le souterrain du Mont Blanc et les sections Aoste au souterrain et Ivry-Santhia. » M. Chardon réduit de la sorte son devis à 29 ou 30 km. Toute autre est la manière de compter de l'honorable sénateur lorsqu'il s'agit du Simplon : là, les lignes *établies par les lois* ne font, paraît-il, rien à l'affaire et il met au compte du Simplon, non seulement la section italienne, qui est plus que décrétée puisqu'elle est entreprise, mais encore dix millions pour la double voie de la ligne Bouveret-Brigue, en pleine exploitation depuis 1878, et 5 millions pour une gare internationale. Il néglige absolument pour le Mont Blanc et cette gare internationale, tout aussi nécessaire à Chamounix qu'à Brigue, et la pose de la double voie sur les raccourcis régionaux et sur la section Collonges-Annemasse. Nous faisons le lecteur juge de la confiance que peuvent, dans ces conditions, inspirer les devis des promoteurs du Mont Blanc.

Si l'on compte au Simplon comme on le fait au Mont Blanc, on doit négliger d'abord la section Gozzano-Domo en construction et, qui plus est, la section Domo à Iselle que le gouvernement italien s'est engagé à construire à ses frais en temps utile, pour être terminée à la même époque que le tunnel. Resterait le tunnel seulement, sans aucune ligne d'accès. Ce mode de calcul est évidemment fautif, il dissimule des dépenses considérables, des sacrifices qui doivent fatalement incomber à quelqu'un : état, département, province, commune ou compagnie. Nous n'imiterons pas cet exemple et nous chercherons à établir ce que doit coûter le raccordement entre les têtes de lignes existantes, laissant à qui de droit le soin de répartir les dépenses entre les intéressés.

Tunnels. — Les promoteurs du Mont Blanc estiment le mètre courant du tunnel à 3380 francs, ce qui, pour 19 220 mètres¹, établit un premier chiffre de 65 millions.

M. Chardon déclare ce chiffre « être un maximum, reconnu excessif (10 millions environ) par tous les hommes compétents. » Nous nous appuyons sur l'expérience du Saint-Gothard, du Mont Cenis et des hommes qui ont mis la main à l'œuvre, les plus compétents entre tous, pour déclarer ce devis comme étant absolument insuffisant. Le Mont Cenis a coûté près de 5000 francs par mètre courant. Il est vrai que c'était la première fois qu'on abordait un semblable travail. Au Saint-Gothard les dépenses se sont élevées d'après les décomptes de la compagnie, à 3905 francs le mètre courant ; mais l'entreprise élève des réclamations importantes qui font l'objet d'un procès. Aujourd'hui, d'après l'expérience acquise, nous croyons pouvoir appliquer un prix de 3652 francs

1. *Mont Blanc ou Simplon*, page 23.

au mètre courant. Il n'existe aucune raison pour que le mètre coûte moins cher au Mont Blanc qu'au Simplon ; au contraire, la galerie *sous vallée* peut donner lieu à des travaux imprévus de revêtement et d'épuisement. MM. les géologues Renevier, Heim et Lory entrevoient des difficultés spéciales dans l'exécution de cette galerie. M. Lory conseille d'y renoncer, et de mettre la galerie *sous vallée* en plein massif, pour éviter les terrains dangereux qu'elle rencontrera, selon toutes probabilités. C'est en réalité l'allongement du tunnel du Mont Blanc.

Quoi qu'il en soit, ce n'est pas à 1342 francs le mètre courant qu'il faut compter cette galerie auxiliaire, comme le fait M. Muzy, mais à 5000 francs le mètre courant, boisages, épuisements et revêtements compris.

De plus les forces hydrauliques indispensables à la compression de l'air moteur sont considérables au Simplon. Le Rhône, la Diveria, et la Cherasca ont été exactement jaugés. Rien de semblable n'a été fait au Mont Blanc.

Les abords des travaux se feront dès l'origine par chemin de fer sur le versant nord du Simplon et par 20 kilomètres de charrois au sud, entre Domo et Iselle, la section Gozzano-Domo pouvant être achevée en une campagne.

Au Mont Blanc, au contraire, il faudra gravir toute la vallée de l'Arve et celle de Courmayeur dont les travaux demanderont plusieurs années. Enfin les relations entre les deux chantiers d'attaque opposés seront rendues faciles au Simplon par la grande route et resteront impossibles au Mont Blanc par le col du Géant.

Quand aux difficultés à surmonter par le fait de la température intérieure, elles sont des plus sérieuses au Mont Blanc où les calculs laissent pressentir 50° à 55° au lieu de 35° au Simplon.

Le puits prévu entre le tunnel proprement dit et la galerie sous vallée ne modifiera guère ces prévisions. Il ne facilitera pas davantage l'extraction des déblais ; leur enlèvement coûtera plus cher de transport au Mont Blanc qu'au Simplon, en supposant même que ce puits ne soit pas transformé en un inépuisable aquarium, collecteur de toutes les eaux d'infiltration, y compris les sources d'eaux minérales qui constituent un des rares profits de la vallée.

Nous croyons descendre au minimum en appliquant au tunnel du Mont Blanc comme à celui du Simplon le prix de 3 652 francs par mètre courant, revêtement compris. Ce dernier est au moins aussi nécessaire à l'un des projets qu'à l'autre sur toute l'étendue du souterrain, et comme il faudra tôt ou tard construire la voûte complète, il est plus économique de l'exécuter au fur et à mesure de l'avancement.

Les ingénieurs du Mont Blanc estiment que cinq années assureront le percement de leur souterrain. Ils se préparent, croyons-nous, de graves mécomptes. A notre avis, la galerie *sous vallée* sera d'un avancement moins rapide que le tunnel, si les boisage.

provisoires et les épuisements deviennent indispensables. M. Colladon ne croit pas qu'elle puisse être percée en moins de sept ans.

L'extraction par puits des déblais du chantier nord de la galerie sous vallée et du chantier sud du souterrain principal, sera une cause de lenteur que personne n'oserait prévoir. Nous croyons qu'il convient de compter au moins sept ans pour le Mont Blanc comme pour le Simplon.

Estimation des lignes d'accès. — Notre estimation des lignes d'accès est basée sur l'expérience acquise au Saint Gothard, dont les ingénieurs du Mont Blanc ne semblent tenir aucun compte. Cependant s'il est un exemple à suivre et des chiffres à respecter, c'est bien sur cette ligne récemment achevée qu'il faut aller les chercher.

M. Chardon applique les prix par kilomètre de 150 000 francs pour les sections de plaine et de 400 000 francs pour celles de montagne.

De Pré-Saint-Didier à Aoste, le tracé rencontre des moraines, des cônes de déjection et d'éboulement, des défilés encaissés aux parois verticales tels que ceux de Pierre-Taillée et d'Avisé; ces passages sont au moins aussi scabreux que les plus difficiles des abords du Saint-Gothard. Or, en 1864, dans un moment d'engouement, le kilomètre des lignes d'accès du Gothard avait été évalué à 500 000 francs. Lorsqu'un examen plus approfondi du terrain et l'établissement des profils en travers eurent constaté l'erreur commise, c'est à 1 300 000 et 1 400 000 francs *par kilomètre* que fut portée l'estimation.

Le coût kilométrique moyen des rampes d'accès nord et sud du Gothard, de Silenen à Bodio, rampes mesurant ensemble 66 kilomètres, a été évalué en 1877 à 961 000 francs et revient à 980 000 francs; les parties les plus difficiles de ces rampes ont coûté de 1 000 000 à 1 400 000 francs par kilomètre. De son côté, M. Margot, ingénieur en chef des ponts et chaussées de la Haute Savoie, est dans le vrai en estimant à *un million* le kilomètre de ligne de montagne. Il y a loin de cette estimation aux 400 000 francs de M. l'ingénieur Godin de Lépinay. M. Muzy est mieux renseigné lorsqu'il estime à 534 800 francs le prix du kilomètre à simple voie des abords du Mont Blanc.

Au Simplon, l'étude de 1878, faite sur plans au 1 ‰ et sur profils en travers au 1 ‰ prévoyait un coût kilométrique de 816 000 francs pour les parties difficiles.

D'après les dernières études, le kilomètre de la section Iselle-Piedimulera est estimé à 935 332 francs pour double voie, souterrains d'accès compris.

Devis comparatif.

Simplon, par la rive droite de la Diveria avec 12,5 ‰.

	Francs
Gare internationale	2 400 000
Tunnel de 19*795 m. à 3 652 fr. le mètre	72 300 000
D'Iselle à Piedimulera, 31*539 m à 935 332 fr.	29 500 000
Total,	104 200 000
De Piedimulera à Gozzano, actuellement en construction, 43*194 m. ¹	9 500 000

Mont Blanc.

	Francs
D'Annemasse à Cluse, 49 km. à 250 000 fr.	12 250 000
Cluse-Chamounix, 36 km. à 935 332 fr.	33 671 952
Tunnel, 19*220 à 3652 fr.	70 191 440
Pré-St-Didier-Aoste, 38 km. à 935 332 fr.	35 952 616
Gare internationale (comme celle prévue à Brigue)	2 400 000
Total,	153 952 008
D'Aoste à Ivree, en construction, 67 km.	23 450 000

Récapitulation des distances virtuelles.

Saint Gothard.

	Km.
Ostende à Plaisance	1447,30

Simplon-Calais-Plaisance.

	Km.
Par Reims et Gozzano	1351,25
Par Reims et Arona	1342,12
Par Paris et Gozzano	1361,29
Par Paris et Arona	1352,16

Mont Blanc-Calais-Plaisance.

	Km.
Par Paris et les raccourcis évoqués par M. Chardon	1479,65
Par Paris et la grande ligne	1447,72
Avec le raccourci d'Ivrée-Santhia.	1418,72

¹ La ligne entière de Domo (ville) à Gozzano est estimée à 11 millions sur 53 km.8 mètres soit 204 460 francs par kilomètre.

Paris-Milan.

	Km.
Par le Simplon et Arona	975,81
Par le Simplon et Gozzano	997,11
Par le Saint-Gothard (Mulhouse et Bâle).	1059,73
Par le Mont Blanc	1102,67
Par le Mont Cenis, par Saint-Amour (d'après le calcul de la commission).	1207,50
Par le Mont Cenis, grande ligne	1212,33

Résumé.

De la mer du Nord à Plaisance, le Simplon donne un raccourci de 105 kilomètres sur le Saint Gothard et de 77 kilomètres sur le Mont Blanc.

De Paris à Milan par Arona, le Simplon est plus court de 84 kilomètres que le Gothard, de 127 kilomètres que le Mont Blanc, de 232 kilomètres que le Mont Cenis.

Le Simplon serait percé à 350 mètres environ plus bas que le Mont Blanc.

Il favoriserait toute la région du nord et de l'est français, tandis que le Mont Blanc ne serait utile qu'à la Savoie et à quelques départements voisins.

Le Simplon peut faire utilement concurrence au Saint Gothard, alors que le Mont Blanc enlèvera inutilement au Mont Cenis une partie de son trafic.

Les lignes d'accès du Simplon sont terminées du côté nord et en voie d'exécution sur le versant sud; elles ne sont pas commencées au Mont Blanc; la lacune à combler entre les têtes de lignes existantes est beaucoup plus courte au Simplon qu'au Mont Blanc.

Les déclivités les plus douces se trouveront plus aisément au Simplon. Les difficultés techniques sont moindres au tunnel du Simplon qu'à celui du Mont Blanc.

Des corrections dans le Jura pourront encore améliorer le Simplon; de nouvelles lignes au travers de cette chaîne de montagnes n'amélioreraient pas le projet par le Mont Blanc.

Le Simplon coûtera moins cher. — Le Simplon est assuré de subventions que n'obtiendra pas le Mont Blanc.

La rémunération des capitaux privés est plus sûre.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
CHAPITRE I. <i>Notice historique</i>	5
CHAPITRE II. <i>Programme des études exécutées en 1881 et 1882. Méthodes suivies</i>	15
CHAPITRE III. <i>Tracé du grand tunnel. A. Altitude et déclivités</i>	21
B. Conditions géologiques et thermiques	25
Annexes : I. Rapport d'expertise géologique sur la partie méridionale du projet de tunnel du Mont Blanc, par MM. les professeurs A. Heim et E. Renevier. Décembre 1881	33
II. Lettre du 12 août 1881, de M. le professeur C. Lory, sur le même sujet	44
CHAPITRE IV. <i>Conditions d'exécution du grand tunnel. a) Forces motrices disponibles</i>	46
b) Programme d'organisation des chantiers, perforation, ventilation, etc.	50
c) Durée probable des travaux et devis du grand tunnel	55
d) Résumé récapitulatif des devis du grand tunnel	60
CHAPITRE V. <i>Ligne d'accès nord et gare internationale</i>	61
CHAPITRE VI. <i>Ligne d'accès sud. 1. Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de $12\frac{1}{2}\text{‰}$ sur 30*314^m, se raccordant à Piedimulera</i>	64
2. Tracé sur la rive gauche de la Diveria, avec déclivité de 13 ‰ et développement dans le Val Antigorio, se raccordant à Domo d'Ossola	75
3. Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 18 ‰ et développement hélicoïdal, se raccordant à Villa d'Ossola	78
4. Tracé sur la rive droite de la Diveria, avec déclivité de 20 ‰, se raccordant à Villa d'Ossola	82
5. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 20 ‰ et développement hélicoïdal, se raccordant à Domo d'Ossola	82

	Pages.
6. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 20 ‰ sans développement hélicoïdal, se raccordant à Villa d'Ossola	86
7. Tracé sur la rive droite de la Diveria et de la Toce, avec déclivité de 22 ‰, se raccordant près de Domo d'Ossola	89
8. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 22 ‰, se raccordant à Domo d'Ossola	89
9. Tracé sur la rive gauche de la Diveria et droite de la Toce, avec déclivité de 23,7 ‰, se raccordant à Domo d'Ossola	90
Tableau comparatif des divers projets	93
CHAPITRE VII. <i>Amélioration du passage du Jura et appropriation des lignes de la Suisse Occidentale entre Vallorbes et Brigue au service international</i>	97
CHAPITRE VIII. <i>Comparaison entre le Simplon et le Mont Blanc</i>	103



PERCEMENT DU SIMPLON

ÉTUDES DE 1882

MÉMOIRE TECHNIQUE

avec annexes suivantes :

- A. Carte d'ensemble de la traversée du Simplon de Dijon à Milan.
- B. Carte générale des divers tracés du Simplon.
- C. Profil en long du tracé avec déclivité de $12 \frac{1}{2} \text{‰}$.
- D. » » » 18‰ .
- E. » » » 20‰ , se raccordant à Villa d'Ossola.
- F. » » » 20‰ , se raccordant à Domo d'Ossola.

LAUSANNE

IMPRIMERIE GEORGES BRIDEL

1882

PC 303



61/2225

A

CARTE D'ENSEMBLE DE LA TRAVERSÉE DU SIMPLON DE DIJON A MILAN

CARTE D'ENSEMBLE DE LA TRAVERSÉE DU SIMPLON DE DIJON A MILAN

comprenant l'indication des autres passages alpins projetés et exécutés.

Annexe au mémoire technique



Gravé et Imprimé par Eclard, 35³⁰, r. Denfert-Rochereau Paris.

Echelle 1: 600.000.
0 5 10 15 20 25 30 35 40 Kil.

B

CARTE GÉNÉRALE DES DIVERS TRACÉS DU SIMPLON

TRAVERSEE DU SIMPLON PAR UN CHEMIN DE FER
ÉTUDES DE 1882
CARTE GÉNÉRALE
ÉCHELLE 1 : 50,000

- LÉGENDE**
- N°1. Tracé avec déclivité maximale de 12 1/2 ‰
se raccordant à l'ancienne route
 - N°2. Tracé avec déclivité maximale de 13 ‰
se raccordant à Domodossola
 - N°3. Tracé avec déclivité maximale de 18 ‰
se raccordant à Villa d'Ossola
 - N°4. Tracé avec déclivité maximale de 20 ‰
se raccordant à Domodossola
 - N°5. Tracé avec déclivité maximale de 20 ‰
se raccordant à Domodossola



Photolithographie L. Oudet des.

C

PROFIL EN LONG DU TRACÉ AVEC DÉCLIVITÉ DE 12 1/2 ‰

Communes traversées

Ouvrages principaux

Routes et Cours d'eau

Gares et Stations

Distances entre les Stations

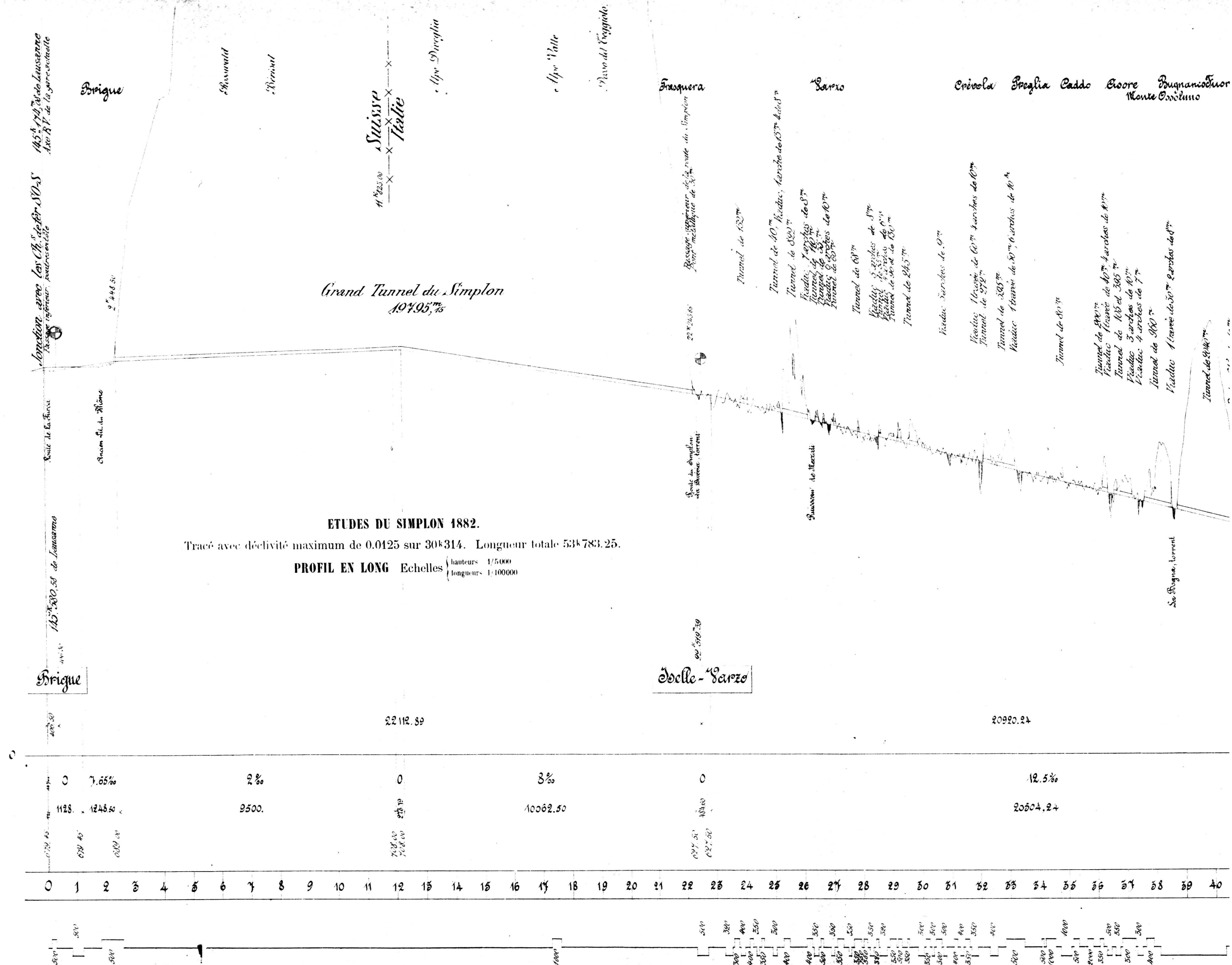
Plan de comparaison, niveau de la mer
Base du nivellement: Pierre du Niton à Genève 37686

Paliers, Pentes et Rampes $\left\{ \begin{array}{l} \text{Déclivités} \\ \text{Longueurs} \end{array} \right.$

Cotes de la Plateforme des Terrassements

Kilométrage

Alignements *Courbes centre à droite*
 Courbes centre à gauche



D

PROFIL EN LONG DU TRACÉ AVEC DÉCLIVITÉ DE 18 ‰

Communes traversées

Ouvrages principaux

Routes et Cours d'eau

Gares et Stations

Distances entre les Stations

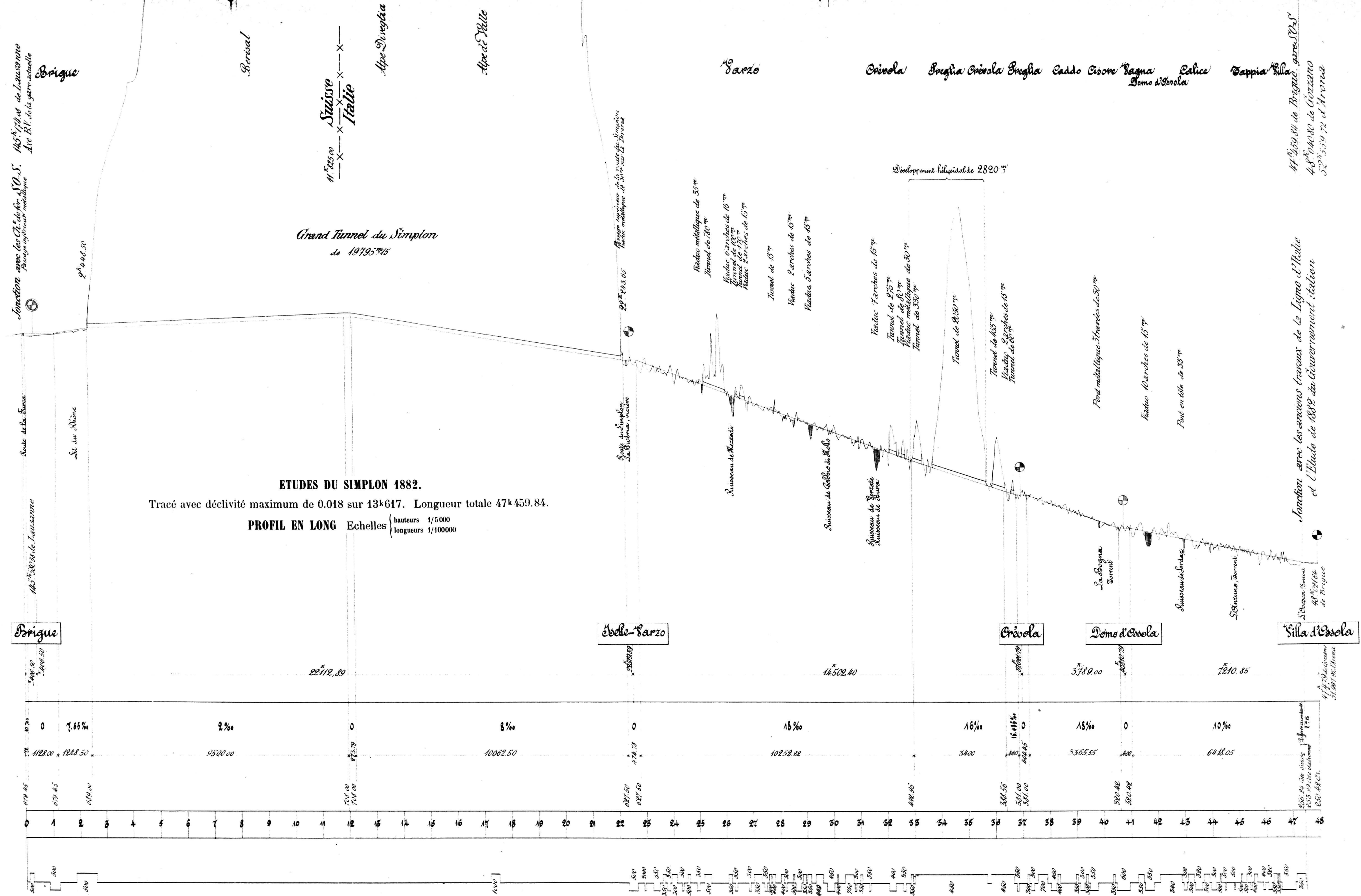
Plan de comparaison, niveau de la mer.
Base du nivellement : Pierre du Nilon à Genere 57686

Paliers, Pentes et rampes $\left\{ \begin{array}{l} \text{Déclivités} \\ \text{Longueurs} \end{array} \right.$

Cotes de la Plateforme des Terrassements

Kilométrage

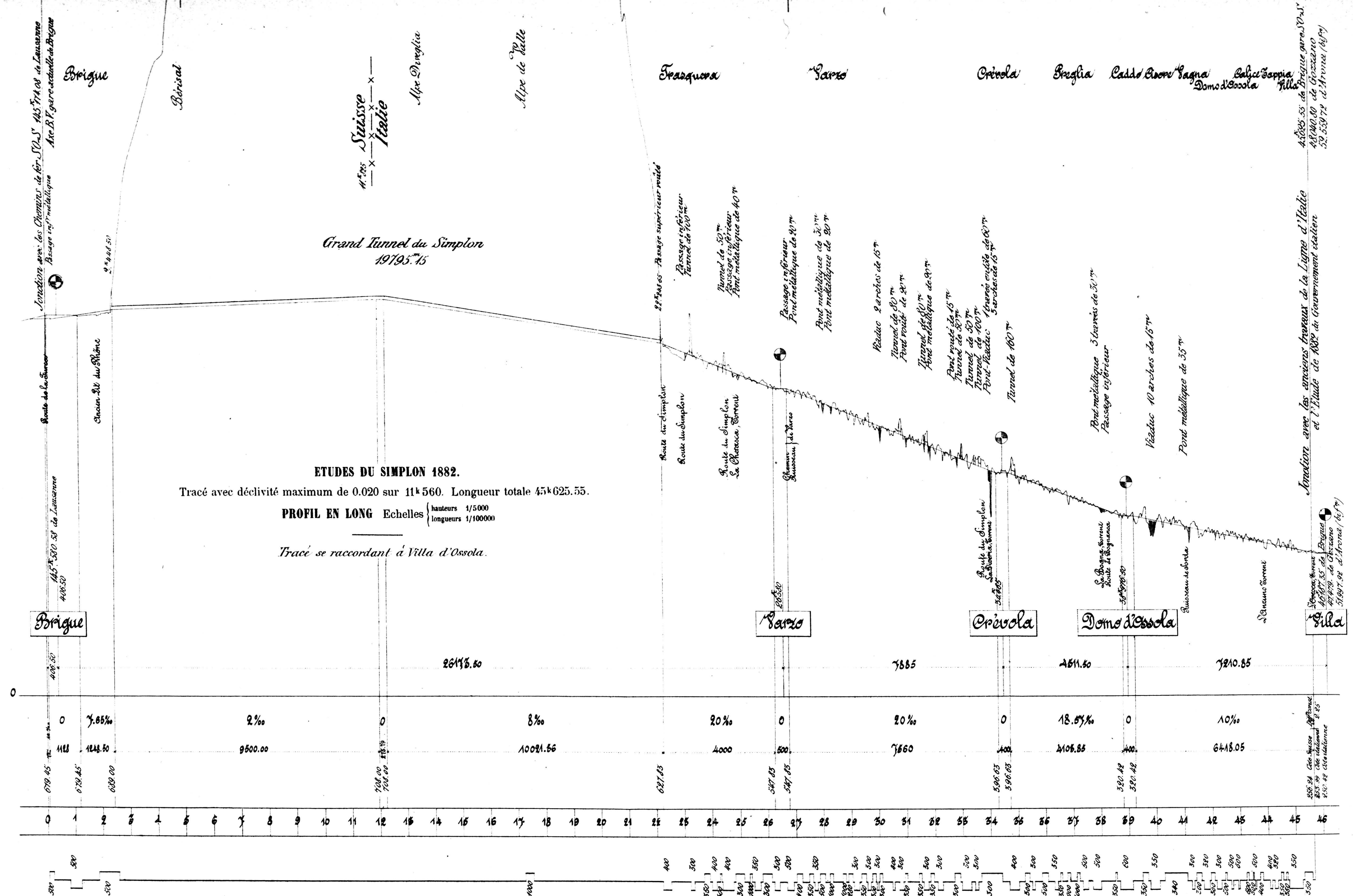
Alignements $\left\{ \begin{array}{l} \text{Courbes centre à droite} \\ \text{Courbes centre à gauche} \end{array} \right.$



E

PROFIL EN LONG DU TRACÉ AVEC DÉCLIVITÉ DE 20 ‰
se raccordant à Villa d'Ossola.

Alignements $\left\{ \begin{array}{l} \text{Courbes centre à droite} \\ \text{Courbes centre à gauche} \end{array} \right.$



F

PROFIL EN LONG DU TRACÉ AVEC DÉCLIVITÉ DE 20 ‰
se raccordant à Domo d'Ossola.

Communes traversées

Ouvrages principaux

Routes et Cours d'eau

Gares et Stations

Distances entre les Stations

*Plan de comparaison niveau de la mer
Base du nivellement Pierre du Nil à Gené 5/6.86*

Paliers Pentas et Rampes $\left\{ \begin{array}{l} \text{Déclivités} \\ \text{Longueurs} \end{array} \right.$

Cotes de la Plateforme des Terrassements

Kilométrage

Alignements $\left\{ \begin{array}{l} \text{Courbes centre à droite} \\ \text{Courbes centre à gauche} \end{array} \right.$

